

Estudi i anàlisi comparatiu dels sistemes de tractament d'aigües residuals per vaixells de passatge que naveguin per la nova zona especial (MARPOL) del mar Bàltic.

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:

Adrian Serbul

Dirigit per:

Santiago Ordás Jiménez

Grau en Enginyeria en Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, 1 de Juliol de 2019

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona

Full de Cortesia

Agraïments

Vull donar les gràcies a la meva família i a la meva parella. Han estat sempre al meu costat i han cregut sempre en mi.

També vull donar les gràcies al meu tutor, Santiago Ordás, que m'ha guiat i m'ha ajudat molt a l'hora de realitzar aquest treball.

Resum

Davant els canvis significatius que s'han anat produint en els últims anys amb el marc normatiu de l'àmbit marítim en relació amb la descarrega d'aigües residuals en el mar per part dels vaixells, s'ha considerat necessària l'elaboració d'aquest treball. En concret, tots els vaixells del món que instal·lin un sistema de tractament d'aigües residuals a partir del gener de l'any 2016 han de complir amb la resolució MEPC.227(64) perquè aquell sistema pugui ser aprovat i certificat per l'Administració. Un altre canvi important que s'ha realitzat, és la designació a través de la resolució MEPC.200(62) del mar Bàltic com una zona especial sota l'Annex IV del conveni MARPOL 73/78. Aquest segon canvi implica que tots els vaixells de passatge que naveguin per aquesta zona, apart de complir amb els requisits de la MEPC.227(64), hauran de complir amb uns requeriments addicionals (també inclosos en la mateixa resolució). Ja cap vaixell de passatge que navegui per la zona del mar Bàltic podrà descarregar les aigües residuals directament al mar sense tractament (a diferència de quan anteriorment qualsevol vaixell podia descarregar directament amb la condició de que estigués a més de 12 milles de la costa) i haurà de tenir una planta de tractament o alternativament uns tancs de retenció.

A través d'aquest treball, es vol aconseguir donar resposta a la pregunta: “Quines plantes es poden instal·lar actualment en un vaixell per poder complir amb la normativa?”. Per poder fer-ho, apart de l'explicació de la normativa actual amb més detall, s'ha considerat necessari aportar informació sobre els següents temes principals:

- El perquè de l'assignació del mar Bàltic com zona especial per la descarrega d'aigües residuals per part dels vaixells.
- Quines són les característiques de l'aigua residual, quins contaminants pot contenir i quines són les operacions per tractar-la?
- Quines opcions són les que hi ha disponible en el mercat per tractar les aigües residuals en vaixells?

A través d'aquest camí, es creu que el lector pot familiaritzar-se amb el tema d'una forma completa i tenir la possibilitat de veure no només una comparativa entre uns models de plantes de tractament per aigües residuals per vaixells, sinó tot el que està relacionat amb aquests sistemes i aquests processos.

Abstract

Given the significant changes that have taken place in recent years with the regulatory framework of the maritime field in relation to the discharge of wastewater in the sea by the vessels, the preparation of this work has been considered necessary. Specifically, all the ships of the world that install a system of wastewater treatment from January of the year 2016 must comply with the resolution MEPC.227(64), so that system can be approved and certified by the Administration. Another important change that has been made, is the designation through the resolution MEPC.200(62) of the Baltic Sea as a special area under Annex IV of the convention MARPOL 73/78. This second change means that all passenger ships sailing in this area, apart from complying with the requirements of the MEPC.227(64), must comply with some additional requirements (also included in the same resolution). Any passenger ship navigating the Baltic Sea area will not be able to discharge sewage directly into the sea without treatment (unlike when any ship could directly discharge with the condition that it was 12 miles offshore) and must have a treatment plant or alternatively retention tanks.

Through this work, it is wanted to respond to the next question: "What plants can currently be installed on a ship in order to comply with the regulations?". In order to do so, apart from explaining the current regulations in greater detail, information on the following main topics has been deemed necessary:

- The reason for the designation of the Baltic Sea as a special area for the discharge of wastewater on the part of the vessels.
- What are the characteristics of residual water, what pollutants it can contain, and which are the operations to treat it?
- What options are available on the market to treat wastewater in vessels?

Through this path, it is believed that the reader can become familiar with the subject in a complete way and have the possibility of seeing not only a comparison between some models of wastewater treatment plants for vessels, but everything related to these systems and processes.

Taula de continguts

AGRAÏMENTS	III
RESUM	IV
ABSTRACT	V
TAULA DE CONTINGUTS	VI
LLISTAT DE FIGURES	XI
LLISTAT DE TAULES	XIV
LLISTAT D'ACRÒNIMS	XVI
CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ	18
CAPÍTOL 2. EL MAR BÀLTIC I LA SEVA PROBLEMÀTICA AMBIENTAL	20
2.1 EL MAR BÀLTIC	20
2.2 L'EUTROFITZACIÓ	20
2.2.1 CAMINS I FONTS DE L'APORTACIÓ DE NUTRIENTS AL MAR BÀLTIC	21
2.2.2 DADES SOBRE LES FONTS DE NUTRIENTS	22
2.2.3 AIGÜES RESIDUALS	22
2.2.3 NUTRIENTS APORTATS PER LES AIGÜES RESIDUALS DELS VAIXELLS AL MAR BÀLTIC	23
2.2.4 COMPLIMENT DELS NIVELLS LLINDAR DE NUTRIENTS EN LES DIFERENTS ZONES DEL MAR BÀLTIC	24
2.2.5 BALTIC SEA ACTION PLAN	27
2.3 ALTRES INDICADORS SOBRE L'ESTAT DEL MAR BÀLTIC	28
2.3.1 VESSAMENTS OPERATIUS DE PETROLI DELS VAIXELLS	28
2.3.2 ÀCID PERFLUOROOCETANOSULFÒNIC (PFOS)	29
2.3.3 ÈTER DIFENÍLIC POLIBROMAT (PDBE)	30
2.3.4 METALLS PESATS (Pb, Cd, Hg)	30
2.3.5 CESIUM-137	31
2.4 CONCLUSIONS CAPÍTOL	31
CAPÍTOL 3. CARACTERÍSTIQUES DE L'AIGUA RESIDUAL	32
3.1 INTRODUCCIÓ	32
3.2 RAONS PER TRACTAR L'AIGUA RESIDUAL	32
3.3 CARACTERÍSTIQUES DE L'AIGUA RESIDUAL	32
3.3.1 CARACTERÍSTIQUES FÍSQUES	33
3.3.2 CARACTERÍSTIQUES QUÍMIQUES	33
3.3.3 CARACTERÍSTIQUES BIOLÒGIQUES	34
3.4 CONTAMINANTS D'IMPORTÀNCIA EN EL TRACTAMENT D'AIGUA RESIDUAL	35
3.5 CONCLUSIONS CAPÍTOL	36

CAPÍTOL 4. OPERACIONS DE TRACTAMENT 37

4.1 NIVELLS DE TRACTAMENT	37
4.1.1 PRETRACTAMENT DE LES AIGÜES RESIDUALS	37
4.1.2 TRACTAMENT PRIMARI DE LES AIGÜES RESIDUALS	37
4.1.3 TRACTAMENT SECUNDARI CONVENCIONAL	37
4.1.4 CONTROL I ELIMINACIÓ DE NUTRIENTS	37
4.1.5 TRACTAMENT AVANÇAT	37
4.1.6 TRACTAMENT DE CONTAMINANTS ESPECIALS	37
4.2 CLASSIFICACIÓ DE LES OPERACIONS I PROCESSOS DE TRACTAMENT	38
4.2.1 OPERACIONS FÍSQUES UNITÀRIES	38
4.2.2 PROCESSOS QUÍMICS UNITARIS	38
4.2.3 PROCESSOS BIOLÒGICS UNITARIS	38
4.3 DESCRIPCIÓ DE LES OPERACIONS FÍSQUES UNITÀRIES	38
4.3.1 DESBAST	38
4.3.2 BARREJA	39
4.3.3 SEDIMENTACIÓ	40
4.3.4 FLOTACIÓ	40
4.3.5 FILTRACIÓ	41
4.3.6 TRANSFERÈNCIA DE GASOS	41
4.4 DESCRIPCIÓ DELS PROCESSOS QUÍMICS UNITARIS	42
4.4.1 PRECIPITACIÓ QUÍMICA	42
4.4.2 ADSORCIÓ	42
4.4.3 DESINFECCIÓ	43
4.4.4 DECLORACIÓ	43
4.5 PROCESSOS BIOLÒGICS UNITARIS	43
4.5.1 PROCESSOS DE TRACTAMENT AEROBI DE CULTIUS EN SUSPENSÍO	43
4.5.2 PROCESSOS DE TRACTAMENT AEROBI DE CULTIUS FIXES	44
4.5.3 PROCESSOS DE TRACTAMENT ANAEROBI DE CULTIUS EN SUSPENSÍO	45
4.5.4 PROCESSOS DE TRACTAMENT ANAEROBI DE CULTIUS FIXES	45
4.5.5 ELIMINACIÓ BIOLÒGICA DE NUTRIENTS	46
4.6 TRACTAMENT DE FANGS	47
4.6.1 TIPUS DE FANGS	47
4.6.2 PROCÉS DE TRACTAMENT DE FANGS	47
4.7 CONCLUSIONS CAPÍTOL	48

CAPÍTOL 5. MARC NORMATIU EN L'ÀMBIT MARÍTIM 49

5.1 ORGANITZACIÓ MARÍTIMA INTERNACIONAL (OMI)	49
5.2 CONVENI MARPOL 73/78	49
5.2.1 ANNEX IV DEL MARPOL 73/78	49
5.3 COMITÈ DE PROTECCIÓ DEL MEDI MARÍ MEPC	50

5.3.1 MEPC.200(62)	50
5.3.2 MEPC.227(64)	50
5.3.3 MEPC.275(69)	51
5.4 CONCLUSIONS CAPÍTOL	51

<u>CAPÍTOL 6. ESTÀNDARDS QUE HAN DE COMPLIR LES PLANTES DE TRACTAMENT PER VAIXELLS SEGONS LA IMO MEPC.227(64)</u>	52
--	-----------

6.1 INTRODUCCIÓ	52
6.2 PLANTES DE TRACTAMENT I EL PROBLEMA DE LA DILUCIÓ	52
6.3 ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES	53
6.4 ALTRES INDICACIONS	54
6.5 CONCLUSIONS CAPÍTOL	55

<u>CAPÍTOL 7. TECNOLOGIES UTILITZADES EN VAIXELLS PER TRACTAR L'AIGUA RESIDUAL</u>	56
---	-----------

7.1 INTRODUCCIÓ	56
7.2 SISTEMES DE TRACTAMENT BIOLÒGIC CONVENCIONAL	56
7.3 SISTEMES DE TRACTAMENT FISCOQUÍMIC	58
7.4 SISTEMES DE TRACTAMENT AVANÇAT	60
7.5 CONCLUSIONS CAPÍTOL	61

<u>CAPÍTOL 8. SISTEMES DE TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS PER VAIXELLS DISPONIBLES EN EL MERCAT</u>	62
--	-----------

8.1 INTRODUCCIÓ	62
8.2 WÄRTSILÄ	62
8.2.1 SUPER TRIDENT - SMALL STC-13 SERIES	62
8.2.2 SUPER TRIDENT - LARGE STC-14 SERIES	64
8.2.3 SUPER TRIDENT - RETROFIT RT SERIES	66
8.2.4 MEMBRANE BIOREACTOR	68
8.3 ROCHEM	69
8.3.1 ROCHEM MBR (MEMBRANE BIOLOGICAL REACTOR)	69
8.4 EVAC	70
8.4.1 EVAC ECOOCEAN	71
8.4.2 EVAC MBR	72
8.4.3 EVAC ORCA IV B	74
8.4.4 EVAC ECOTREAT	76
8.5 VICTOR MARINE	77
8.5.1 VICTOR MARINE'S FBBR (FIXED BED BIOFILM REACTOR)	77
8.6 ACO MARINE	79

8.6.1 ACO MARIPUR NF	79
8.6.2 ACO CLARIMAR MF	82
8.7 De Nora	84
8.7.1 OMNIPURE SERIES 64 G2	84
8.8 HAMMAN AG	86
8.8.1 HL-CONT COMPACT 0125	86
8.8.2 HL-CONT PLUS	87
8.8.3 HL-CONT PLUS OCEANCruise	88
8.9 JETS	90
8.9.1 ECOMOTIVE	90
8.10 RWO VEOLIA	91
8.10.1 CLEANSEWAGE BIO	92
8.11 TECHNIP S.A.	93
8.11.1 BIOCON	93
8.12 SCIENCO/FAST	95
8.12.1 LX-SERIES	95
8.12.2 M & MX-SERIES	96
8.12.3 D-SERIES	98
8.13 ALTRES EMPRESES	99
8.14 CONCLUSIONS CAPÍTOL	99

CAPÍTOL 9. COMPARATIVA ENTRE ELS SISTEMES DE TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS DISPONIBLES EN EL MERCAT

9.1 INTRODUCCIÓ	101
9.2 HOMOGENEÏTZACIÓ DE DADES	101
9.3 COMPARATIVA ENTRE SISTEMES DE TRACTAMENT	102
9.4 ELECCIÓ DE SISTEMES DE TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS PER DIFERENTS TIPUS DE VAIXELLS	114
9.4.1 VAIXELLS DE CARREGA GENERAL	114
9.4.2 VAIXELLS TIPUS TANC	115
9.4.3 VAIXELLS DE PASSATGE	115
9.4.4 IOTS ENTRE 60 I 120 METRES D'ESLORA	116
9.5 CONCLUSIONS CAPÍTOL	117

CAPÍTOL 10. COSTOS

10.1 INTRODUCCIÓ	118
10.2 PREUS DELS SISTEMES DE TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS PER VAIXELLS	118
10.3 COST ELABORACIÓ DEL TFG	118
10.4 CONCLUSIONS CAPÍTOL	119

CONCLUSIONS

BIBLIOGRAFIA	123
ANNEX 1. RESOLUCIÓ IMO MEPC.200(62)	126
ANNEX 2. RESOLUCIÓ IMO MEPC.227(64)	131
ANNEX 3. RESOLUCIÓ IMO MEPC.275(69)	156

Llistat de Figures

Il·lustració 1. Mapa del mar Bàltic - Font: https://mapasinteractivos.didactalia.net	20
Il·lustració 2. Procés il·lustrat de l'eutrofització - Font: https://www.thinglink.com	21
Il·lustració 3. Fonts dels nutrients en el mar Bàltic - Font: Pròpia	22
Il·lustració 4. Número d'identificacions anuals en les línies AIS - Font: Pròpia (Dades de Meski i Kaitaranta)	23
Il·lustració 5. Gràfics indicadors del compliment dels objectius de fòsfor total (per zones) en el mar Bàltic (I) - Font: HELCOM	24
Il·lustració 6. Gràfics indicadors del compliment dels objectius de fòsfor total (per zones) en el mar Bàltic (II) - Font: HELCOM	25
Il·lustració 7. Mapa indicador del compliment de les quantitats totals anuals adequades de fòsfor en el mar Bàltic - Font: HELCOM	25
Il·lustració 8. Gràfics indicadors del compliment dels objectius de nitrogen total (per zones) en el mar Bàltic - Font: HELCOM	26
Il·lustració 9. Mapa indicador del compliment de les quantitats totals anuals adequades de nitrogen en el mar Bàltic - Font: HELCOM	27
Il·lustració 10. Número i tampanyes dels vessaments de petroli detectats durant els anys - Font: HELCOM	29
Il·lustració 11. Indicador del compliment de les quantitats adequades de PFOS en la zona del mar Bàltic - Font: HELCOM	29
Il·lustració 12. Indicador del compliment de les quantitats totals adequades (suma de concentració en sediments i en la biota) de PDBE en la zona del mar Bàltic - Font: HELCOM	30
Il·lustració 13. Indicador del compliment de les quantitats adequades de Cesium-137 en el mar Bàltic - Font: HELCOM	31
Il·lustració 14. Reixes de desbast de neteja manual - Font: Aula Virtual del Agua (Universitat de Salamanca)	39
Il·lustració 15. Esquema exemple de barrejador mecànic d'hèlix - Font: Pròpia	40
Il·lustració 16. Filtre de tambor - Font: Universitat de Sevilla	41
Il·lustració 17. Esquema del carboni activat - Font: https://www.carbotecnia.info/	42
Il·lustració 18. Biodiscs - Font: https://www.aguasresiduales.info	44
Il·lustració 19. Espessidor - Font: http://www.elaguapotable.com	48
Il·lustració 20. Diagrama exemple d'una planta de tractament d'aigües residuals - Font: Pròpia (Copia adaptada de la resolució MEPC.227 (64))	52

Il·lustració 21. Esquema de funcionament d'un sistema de tractament biològic convencional i desinfecció amb clor - Font: HATENBOERWATER	57
Il·lustració 22. Exemple d'una planta de tractament biològic convencional - Font: HATENBOERWATER .	58
Il·lustració 23. Esquema funcional de la generació d'hipoclorit sòdic a partir de sal comú utilitzant electricitat - Font: SELCOPERM	59
Il·lustració 24. Esquema del procés de coagulació/floculació - Font: Museu de Ciències Marian Koshland	59
Il·lustració 25. Representació de la osmosis i la osmosis inversa - Font: Osmoinfo	60
Il·lustració 26. Representació d'un bioreactor de llit en moviment - Font: BioPortz.....	61
Il·lustració 27. Esquema Super Trident STC01-13 - Small STC-13 Series - Font: Wärtsilä	63
Il·lustració 28. Esquema Super Trident des de STC02-13 fins STC06-13 - Small STC-13 Series - Font: Wärtsilä	63
Il·lustració 29. Dimensions unitat de dosificació química (Esquerre pels models STC01, STC04 i STC06)/(Dreta pels models STC02 i STC03) - Font: Wärtsilä	63
Il·lustració 30. Super Trident - Small STC-13 Series - Font: Wärtsilä	64
Il·lustració 31. Esquema Super Trident - Large STC-14 Series - Font: Wärtsilä	65
Il·lustració 32. Dimensions unitat de dosificació química (Large STC-14 Series) - Font: Wärtsilä.....	65
Il·lustració 33. Super Trident - Retrofit RT Series amb els components separats - Font: Wärtsilä	66
Il·lustració 34. Super Trident - Retrofit RT Series amb els components junts i connectats - Font: Wärtsilä	66
Il·lustració 35. Esquema Super Trident - Retrofit RT Series - Font: Wärtsilä.....	67
Il·lustració 36. Diagrama del procés de tractament del sistema Membrane BioReactor - Font: Wärtsilä	68
Il·lustració 37. Mòdul de la membrana del sistema Membrane BioReactor - Font: Wärtsilä.....	68
Il·lustració 38. Esquema del procés de tractament del sistema Rochem MBR - Font: Rochem	69
Il·lustració 39. Rochem MBR - Font: Rochem.....	70
Il·lustració 40. Esquema del procés de tractament del sistema Evac EcoOcean - Font: Evac.....	71
Il·lustració 41. Evac EcoOcean, esquema de distribució dels elements del sistema - Font: Evac	72
Il·lustració 42. Diagrama del procés de tractament del sistema Evac MBR - Font: Evac	74
Il·lustració 43. Evac MBR - Font: Evac.....	74
Il·lustració 44. Diagrama del procés de tractament del sistema Evac Orca IV B - Font: Evac	76
Il·lustració 45. Evac Orca IV B - Font: Evac.....	76
Il·lustració 46. Evac EcoTreat - Font: Evac	77

Il·lustració 47. Diagrama del procés de tractament del sistema Victor Marine's FBBR - Font: Victor Marine	78
Il·lustració 48. Diagrama del procés de tractament del sistema ACO Maripur NF - Font: ACO Marine	81
Il·lustració 49. ACO Maripur NF - Font: ACO Marine.....	82
Il·lustració 50. Diagrama del procés de tractament del sistema ACO Clarimar MF - Font: ACO Marine ...	83
Il·lustració 51. ACO Clarimar MF - Font: ACO Marine	84
Il·lustració 52. OMNIPURE Series 64 G2 - Font: De Nora	86
Il·lustració 53. HL-CONT Compact 0125 - Font: HAMANN AG	87
Il·lustració 54. Diagrama del procés de tractament dels sistemes HL-CONT Plus - Font: HAMMAN AG ...	88
Il·lustració 55. HL-CONT Plus - Font: HAMMAN AG	88
Il·lustració 57. Diagrama del procés de tractament dels sistemes HL-CONT Plus OceanCruise - Font: HAMMAN AG.....	89
Il·lustració 58. HL-CONT Plus OceanCruise - Font: HAMMAN AG	90
Il·lustració 59. Diagrama del procés de tractament dels sistemes Ecomotive - Font: Jets	91
Il·lustració 60. Diagrama del procés de tractament dels sistemes CleanSewage Bio - Font: RWO Veolia	92
Il·lustració 61. CleanSewage Bio - Font: RWO Veolia	93
Il·lustració 62. Diagrama del procés de tractament dels sistemes BIOCON - Font: Techni S.A.	94
Il·lustració 63. Diagrama del procés de tractament LX-Series - Font: Scienco/FAST	96
Il·lustració 64. LX-Series - Font: Scienco/FAST	96
Il·lustració 65. Diagrama del procés de tractament M & MX-Series - Font: Scienco/FAST.....	98
Il·lustració 66. Característiques D-Series (sistema en un sol bloc) - Font: Scienco/FAST.....	98
Il·lustració 67. Dimensions mòduls D-Series (sistema dividit per mòduls) - Font: Scienco/FAST	98
Il·lustració 68. Dibuixos tècnics de les plantes de tractament D-Series - Font: Scienco/FAST.....	99
Il·lustració 69. Percentatge dels tipus de processos de tractament utilitzats en les plantes disponibles en el mercat - Font: Pròpia.....	100

Llistat de Taules

Taula 1. Objectius de reducció d'aportació de nutrients - Font: Pròpia (Dades del Tribunal de Comptes Europeus).....	28
Taula 2. Resum requisits MEPC.227(64) - Font: Pròpia	54
Taula 3. Característiques Super Trident - Small STC-13 Series - Font: Wärtsilä	62
Taula 4. Característiques Super Trident - Large STC-14 Series - Font: Wärtsilä	65
Taula 5. Característiques Super Trident - Retrofit RT Series - Font: Wärtsilä	67
Taula 6. Pes total i mida de l'obertura per poder instal·lar Super Trident - Retrofit RT Series - Font: Wärtsilä	67
Taula 7. Comparativa entre els requisits MEPC.227(64) i els resultats obtinguts pels sistemes de tractament Rochem MBR - Font: Rochem.....	70
Taula 8. Característiques Evac MBR - Font: Evac.....	73
Taula 9. Característiques Evac ORCA IV B - Font: Evac.....	75
Taula 10. Característiques Evac EcoTreat - Font: Evac	77
Taula 11. Característiques Victor Marine's FBBR - Font: Victor Marine.....	78
Taula 12. Comparativa entre els requisits MEPC.227(64) i els resultats obtinguts pels sistemes de tractament Victor Marine's FBBR - Font: Victor Marine	79
Taula 13. Característiques ACO Maripur NF - Font: ACO Marine.....	80
Taula 14. Comparativa entre els requisits MEPC.227(64) i els resultats obtinguts pels sistemes de tractament ACO Maripur NF - Font: ACO Marine	81
Taula 15. Característiques ACO Clarimar MF - Font: ACO Marine	82
Taula 16. Comparativa entre els requisits MEPC.227(64) i els resultats obtinguts pels sistemes de tractament ACO Clarimar MF - Font: ACO Marine	84
Taula 17. Característiques OMNIPURE Series 64 G2 - Font: De Nora	85
Taula 18. Comparativa entre els requisits MEPC.227(64) i els resultats obtinguts pels sistemes de tractament OMNIPURE Series 64 G2 - Font: De Nora	86
Taula 19. Característiques HL-CONT Compact 0125 - Font: HAMANN AG.....	87
Taula 20. Característiques HL-CONT Plus - Font: HAMMAN AG.....	87
Taula 21. Característiques HL-CONT Plus OceanCruise - Font: HAMMAN AG	89
Taula 22. Característiques Ecomotive - Font: Jets.....	90
Taula 23. Característiques CleanSewage Bio - Font: RWO Veolia	92

Taula 24. Característiques BIOCON - Font: Techni S.A.	93
Taula 25. Característiques LX-Series - Font: Scienco/FAST	95
Taula 26. Característiques M-Series - Font: Scienco/FAST	96
Taula 27. Característiques MX-Series - Font: Scienco/FAST	97
Taula 28. Quantitat mínima d'aigües residuals per persona i dia en litres - Font: Norma ISO 15749-1:2004)	101
Taula 29. Resum comparatiu entre els sistemes recopilats en el capítol 7 - Font: Pròpia.....	114
Taula 30. Preus plantes de tractament de la empresa Victor Marine - Font: Victor Marine.....	118
Taula 31. Temps invertit per elaborar el treball - Font: Pròpia.....	119

Llistat d'acrònims

AIS - Sistema d'identificació automàtica

COT - Carboni total

DBO - Demanda bioquímica d'oxigen

DQO - Demanda química d'oxigen

FBBR - Fixed Bed Biofilm Reactor

HELCOM - Comissió de Hèlsinki

MARPOL 73/78 - Conveni Internacional per la prevenció de la contaminació per vaixells

MBR - Membrane Biological Reactor

MBBR - Moving Bed Biofilm Reactor

MEPC - Comitè de protecció del medi marí

OMI - Organització Marítima Internacional

PDBE - Èter difenílic polibromat

PFOS - Àcid perfluorooctanosulfònic

SOLAS - Conveni Internacional per la Seguretat de la Vida Humana en el Mar

TSS - Sòlids totals en suspensió

UV - Llum ultraviolada

Capítol 1. Introducció

Donada la rellevància dels canvis que s'han anat produint en la normativa del MARPOL 73/78 en els últims anys, en concret amb la designació de la nova zona especial sota l'Annex IV i amb els conseqüents efectes que això té, s'ha decidit realitzar aquest treball. S'ha de tenir en compte que al ser un tema bastant recent, l'estat de l'art està en una fase inicial, per lo tant es creu que es pot fer una aportació interessant a través d'una aproximació del panorama que es presenta pel sector marítim, sobre el que és un cas nou però que es podria convertir en una tendència i un punt d'inflexió.

Per entendre aquest punt d'inflexió, s'ha de mirar sobretot des del punt de vista ecològic, i en concret de la contaminació. És un problema cada cop més gran i més present en tot el món, que afecta a tot i a tothom. És per això que vivim en uns temps en el qual es fa indispensable anar aportant solucions per poder fer un canvi. Un canvi, que per produir-se de veritat, necessita no només d'una sola solució, ja que el problema de la contaminació es presenta sota diferents formes i té diferents fonts. Amb aquest treball de fi de grau, es pretén poder fer una contribució i ajudar avançar en una d'aquestes moltes parts del problema global.

En concret, aquesta aportació té com objectiu donar una solució al problema de la contaminació per aigües brutes que es generen en els vaixells. Per poder fer això s'ha decidit estructurar el treball en dues parts:

- La primera part que està formada pels capítols 2, 3 i 4, consisteix en un estudi genèric sobre el problema ambiental de la zona del mar Bàltic i el tractament de les aigües residuals.
- La segona part que està formada per la resta de capítols, està centrada en l'àmbit marítim.

En concret el contingut de cada un dels capítols que venen a continuació es pot resumir de la següent manera:

- Capítol 2. El mar Bàltic i la seva problemàtica ambiental – en aquest capítol s'intenta explicar la situació actual del mar Bàltic a través de diversos indicadors. Es parla sobre el principal problema en aquesta zona, que és l'eutrofització. S'aporten dades sobre els nutrients i quines són les seves fonts i els camins.
- Capítol 3. Característiques de l'aigua residual – el tercer capítol, com el seu nom ja indica es centra sobre les característiques de l'aigua residual. Aquestes característiques es classifiquen en físiques, químiques i biològiques. Apart d'això, es donen les raons per les quals s'ha de tractar l'aigua residual i quins són els contaminants més importants que pot contenir.
- Capítol 4. Operacions de tractament – en aquest capítol es parla sobre els nivells de tractament i la classificació de les operacions i processos de tractament. Cada una de les operacions i processos

de tractament estan descrites. Per últim, s'ha redactat un breu apartat sobre el tractament de fangs.

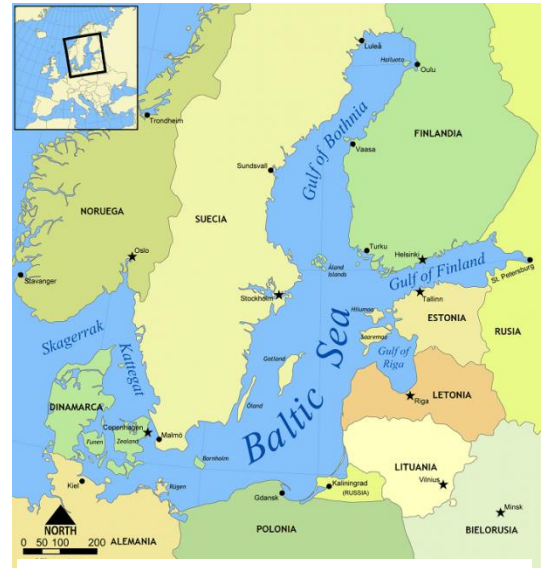
- Capítol 5. Marc normatiu en l'àmbit marítim – en el capítol 5, s'explica quin és el principal organisme que s'encarrega entre altres coses de prevenir la contaminació del mar pels vaixells. Es descriuen els convenis i la normativa que estableix aquest organismes. A més a més s'expliquen les resolucions que s'han anat adoptant i que tenen una relació directa amb el tema del treball.
- Capítol 6. Estàndards que han de complir les plantes de tractament per vaixells segons la IMO MEPC.227(64) – a través d'aquest capítol s'explica de forma resumida la nova resolució MEPC.227(64). Aquesta resolució consisteix en una guia de quins requisits i quines proves han de passar les plantes de tractament d'aigües residuals per vaixells perquè puguin ser aprovades i certificades per l'Administració. Una part molt important d'aquesta resolució, és la secció 4.2, que es una secció addicional que han de complir els vaixells de passatge que naveguin per la nova zona especial sota l'Annex IV del mar Bàltic.
- Capítol 7. Tecnologies utilitzades en vaixells per tractar l'aigua residual – en aquest capítol es fa una breu classificació de les tecnologies existents pel tractament d'aigües residuals per vaixells. Apart de la classificació, es descriu el funcionament de cada una de les tecnologies.
- Capítol 8. Sistemes de tractament d'aigües residuals per vaixells disponibles en el mercat – en aquest capítol es poden trobar recopilats els diferents sistemes de tractament d'aigües residuals per vaixells disponibles en el mercat. Sobre les sèries de plantes que ofereixen els fabricants s'aporten característiques dels diferents models, com per exemple dimensions o pesos. També s'explica el funcionament dels sistemes i en alguns casos s'han trobat fins i tot les dades de l'efluent després del tractament. Tots els sistemes seleccionats compleixen amb la normativa més actual: la resolució MEPC.227(64).
- Capítol 9. Comparativa entre els sistemes de tractament d'aigües residuals disponibles en el mercat – la intenció d'aquest capítol es donar tota la informació vista en el capítol 8 d'una forma més resumida i clara per tal de facilitar l'elecció d'un sistema en concret per un determinat cas. Addicionalment es parla sobre alguns dels avantatges i desavantatges dels diferents models de plantes. En la segona part del capítol s'ha intentat escollir uns models que es creu que s'adaptarien millor a determinats tipus de vaixells, en concret pels vaixells que naveguen habitualment per la zona del mar Bàltic.
- Capítol 10. Costos – en aquest últim capítol, s'ha parlat sobre els preus dels sistemes de tractament i quins han sigut els resultats obtinguts a l'hora de contactar amb els fabricants. També s'ha fet una valoració econòmica sobre quant valdria l'elaboració d'aquest treball per part d'una consultoria especialitzada.

Capítol 2. El mar Bàltic i la seva problemàtica ambiental

2.1 El mar Bàltic

El mar Bàltic és un mar interior situat al nord d'Europa amb una superfície total de 432.800 km². Està rodejat de vuit països: Suècia, Finlàndia, Rússia, Estònia, Letònia, Lituània, Polònia, Alemanya i Dinamarca. És un dels mars més contaminats del món, amb zones mortes que cobreixen una sisena part del seu fons marí.

Un dels majors problemes presents, és l'eutrofització, que és un procés que es dona quan en una massa d'aigua s'introdueixen nutrients en excés, principalment nitrogen i fòsfor, la causa sent l'esser humà. En conseqüència, es generen grans proliferacions de algues que són potencialment tòxiques per l'ecosistema.



Il·lustració 1. Mapa del mar Bàltic - Font: <https://mapasinteractivos.didactalia.net>

2.2 L'eutrofització

En un riu, un llac o fins i tot un mar es pot donar un procés de contaminació de les aigües per un enriquiment de nutrients, especialment de matèria orgànica, de fosfats i nitrats. Aquest fet afavoreix i accelera el creixement d'algues que cobreixen la superfície de l'aigua i eviten que la llum solar arribi a les capes inferiors.

La vegetació situada per sota del llindar fòtic mor, a la vegada que també moren moltes de les algues que estaven proliferant a la superfície degut al esgotament dels nutrients causat pel creixement exponencial i es cauen al fons marí. Es produeix una acumulació de substàncies orgàniques mortes en el fons que es van descomponent pels bacteris que a la seva vegada van consumint l'oxigen, i a més a més poden produir toxines letals per altres plantes i animals. Es crea una absència d'oxigen incompatible amb la vida dels pobladors habituals com mol·luscs, peixos o crustacis, que poden arribar a ser substituïts per espècies oportunistes més resistents.



Il·lustració 2. Procés il·lustrat de l'eutrofització - Font: <https://www.thinglink.com>

A més a més de l'important alteració de la comunitat d'organismes vius, queda afectada la qualitat de les aigües i es produeixen olors molt desagradables degut a l'alliberament de gasos com el sulfur d'hidrogen (SH₂) o amoníac (NH₃). Fins i tot es poden produir impediments per la navegació.

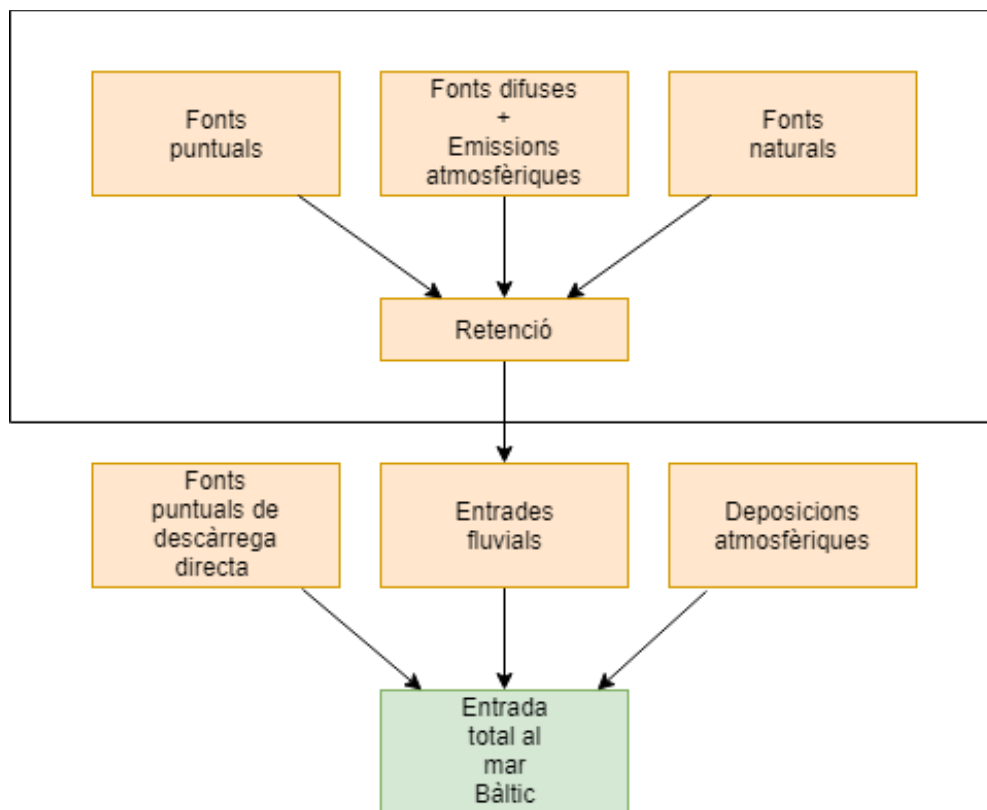
2.2.1 Camins i fonts de l'aportació de nutrients al mar Bàltic

Els principals camins d'aportació dels nutrients són els següents segons la Comissió de Hèlsinki (HELCOM):

- Deposicions atmosfèriques directes en la superfície.
- Entrades fluvials al mar. Els rius transporten nutrients que acaben descarregant-se en les aigües del mar.
- Fonts puntuals de descàrrega directa al mar.

Les diferents fonts de nitrogen i fòsfor són:

- Emissions atmosfèriques de compostos de nitrogen produïts pel tràfic o la combustió de combustibles fòssils, i d'excrements generats per la ramaderia.
- Fonts difuses, que provenen principalment de l'agricultura.
- Fonts puntuals, incloent-hi entrades des de municipis, indústries i granges pesqueres que descarreguen en les aigües interiors i també directament al mar.
- Fonts naturals, que aporten nutrients principalment degut a l'erosió natural, i les pèrdues de nutrients corresponents a terres gestionades i administrades per les persones, però que independentment d'aquestes activitats humanes l'aportació de nutrients es seguiria produint.



Il·lustració 3. Fonts dels nutrients en el mar Bàltic - Font: Pròpia

2.2.2 Dades sobre les fonts de nutrients

Segons les dades aportades en l'informe "Estimated nutrient load from waste waters originating from ships in the Baltic Sea area." De Huhta, Hanna-Kaisa, Rytönen, Jorma and Sassi, Jukka, l'any 2010, l'aportació total de nitrogen va ser de 977.000 tones i de fòsfor va ser 38.300 tones.

Les principals fonts de nutrients que arriben al mar són cargues hídriques procedents de l'interior a través dels rius i els abocaments directes des de la costa. Aquestes carregues representen aproximadament el 78% del nitrogen i el 95% del fòsfor que entra en total en el mar Bàltic. Les dues fonts més importants de les carregues hídriques de nutrients són les fonts difuses, principalment l'agricultura (45% del nitrogen total i 45% del fòsfor total). Mentre que les fonts puntuals són principalment les aigües residuals urbanes que aporten un 12% del nitrogen total i 20% del fòsfor total. Les deposicions atmosfèriques corresponen a una aportació aproximada del 22% de la quantitat total de nitrogen i un 5% de la quantitat total de fòsfor.

En el cas del nitrogen, dels 22% aportat per les deposicions atmosfèriques, un 6% correspon als gasos d'exhaustió generats pels vaixells.

2.2.3 Aigües residuals

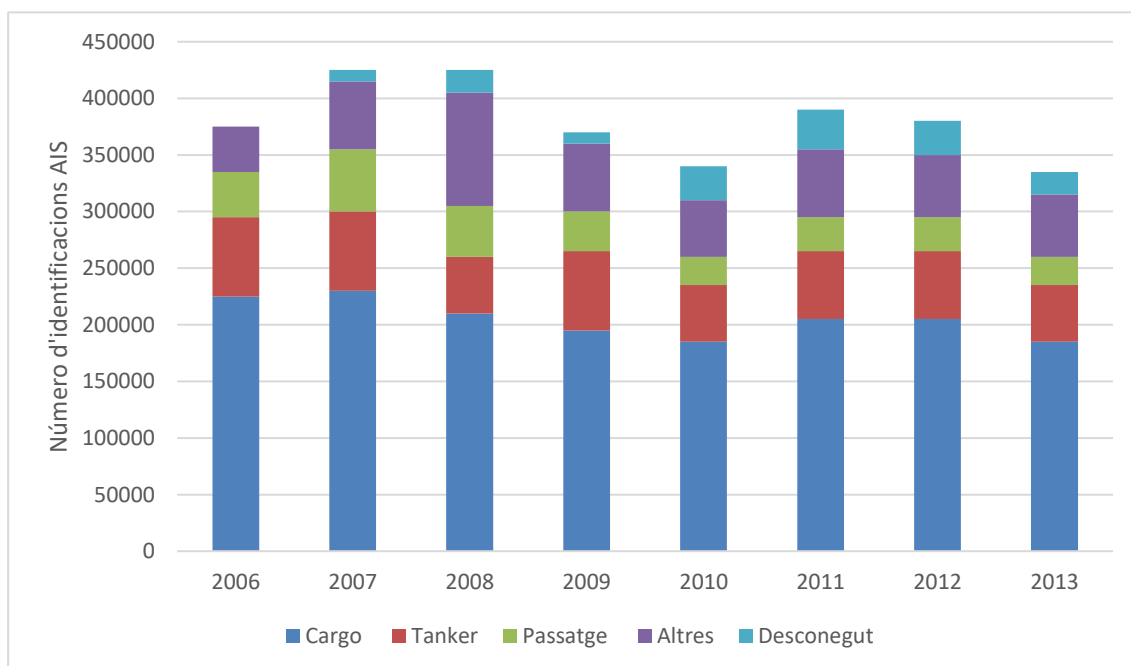
Entre les fonts enumerades anteriorment, també trobem les aigües residuals generades i descarregades al mar pels vaixells.

Tota comunitat genera residus tant líquids com sòlids. La fracció líquida dels mateixos -les aigües residuals- és essencialment l'aigua de la qual es desprèn una comunitat un cop ha sigut contaminada durant els diferents usos que se li ha donat. També es pot definir l'aigua residual com la combinació de residus líquids o aigües portadores de residus que poden procedir de diverses fonts, com habitatges, establiments industrials, establiments públics o embarcacions.

Podem dividir les aigües residuals en dos tipus: les grises i les negres. Les aigües grises són les que es generen per tot tipus d'activitats com podria ser que una persona es dutxi o que netegi uns plats. La gran diferència entre les grises i les negres, és que les negres contenen deixalles humanes (o d'animals). També es consideren aigües negres les generades en un hospital.

2.2.3 Nutrients aportats per les aigües residuals dels vaixells al mar Bàltic

Al mar Bàltic hi ha aproximadament 2.000 vaixells navegant en tot moment i aproximadament entre 3.500 i 5.500 vaixells naveguen a través del àrea en un mes. Més d'un 50% dels vaixells són del tipus de carga general, un 20% dels vaixells són del tipus tanc que transporten més de 200 milions de petroli, i aproximadament un 11% són vaixells de passatge que transporten uns 50 milions de passatgers. A continuació es pot veure una estadística per anys de les vegades que han anat creuant els diferents tipus de vaixells les línies dels sistemes d'identificació automàtica (AIS) en la zona del mar Bàltic:



Il·lustració 4. Número d'identificacions anuals en les línies AIS - Font: Pròpia (Dades de Meski i Kaitaranta)

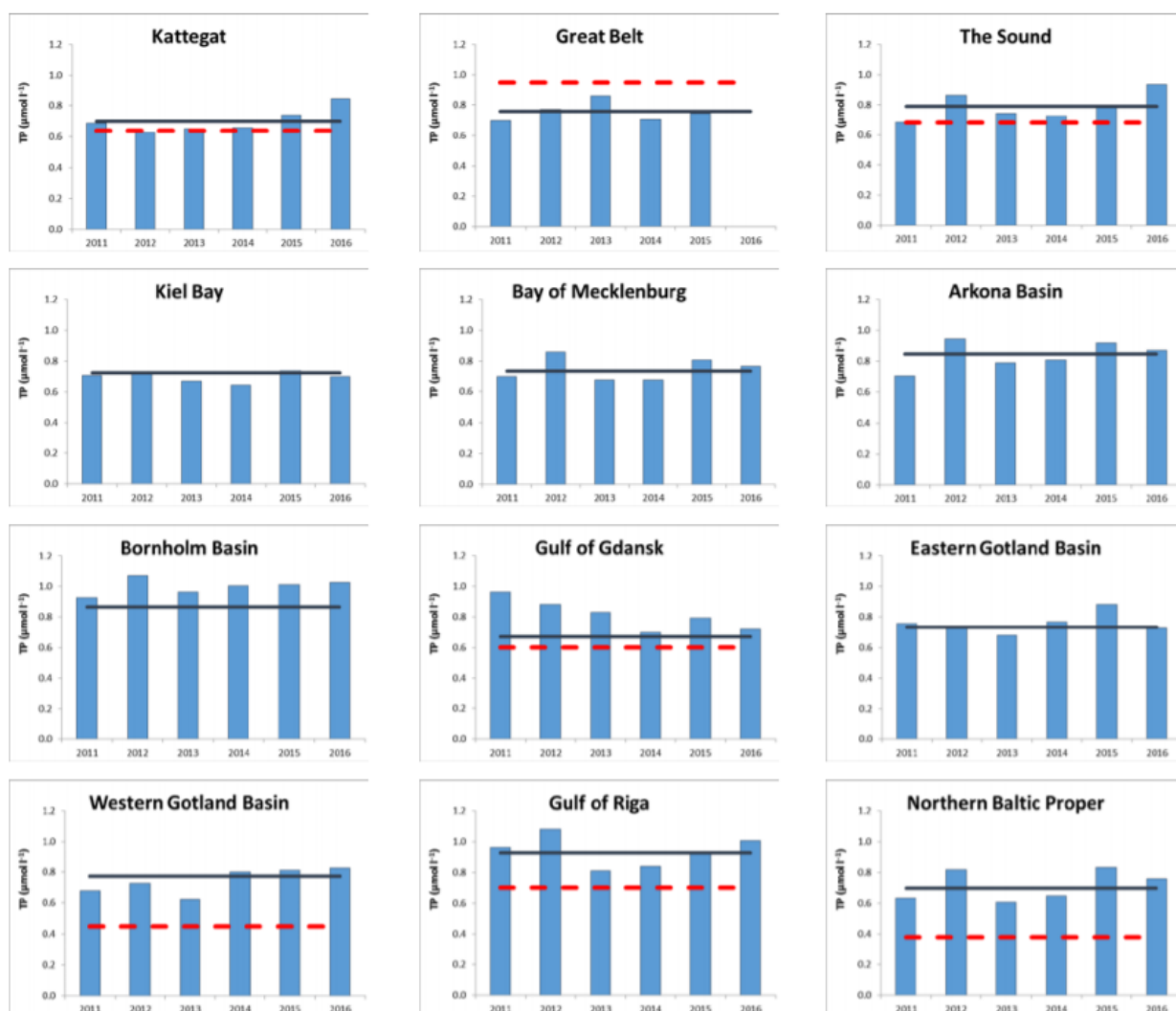
Les quantitats de nutrients aportats per part dels vaixells a través de l'abocament de les aigües residuals en comparació amb les altres fonts són molt petites. S'estima que els vaixells estarien aportant només un 0,0465% de la quantitat total de nitrogen i 0,4510% de la quantitat total de fòsfor. Aquests percentatges corresponen a unes 450 tones de nitrogen i a unes 170 tones de fòsfor. Encara que poden semblar dades

molt petites, degut a la situació tan delicada del mar Bàltic, es necessita fer un canvi en totes les rames i reduir l'aportació al màxim possible per part de totes les fonts, per tant les aigües residuals generades per part dels vaixells no son una excepció.

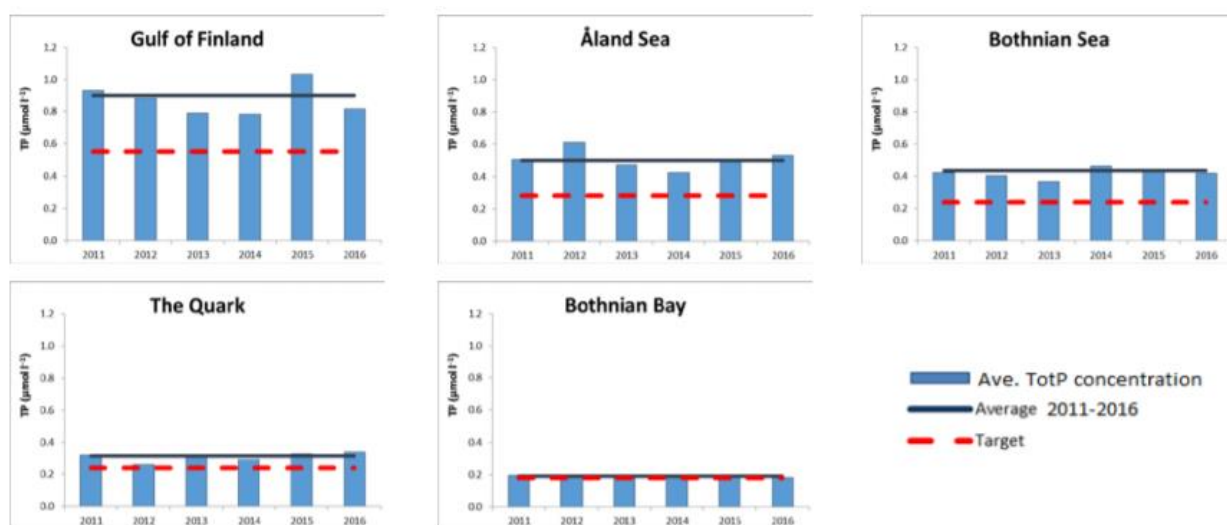
2.2.4 Compliment dels nivells llindar de nutrients en les diferents zones del mar Bàltic

Per observar quin és l'estat actual del mar Bàltic en lo que es refereix a nutrients (nitrogen i fòsfor) ens farem servir dels gràfics elaborats per part de HELCOM que indiquen els nivells llindar de cada una de les zones del mar Bàltic i les concentracions que realment s'han detectat durant els anys 2011-2016.

Fòsfor

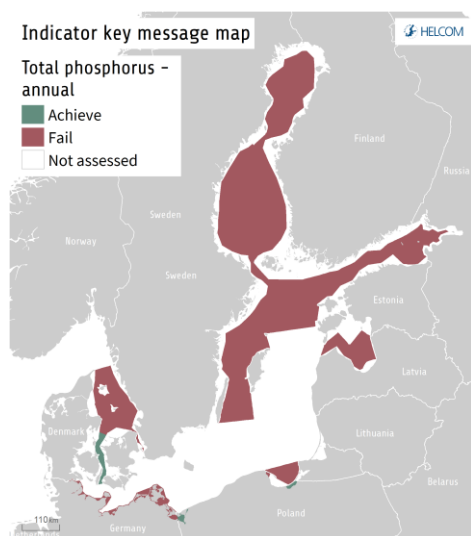


Il·lustració 5. Gràfics indicadors del compliment dels objectius de fòsfor total (per zones) en el mar Bàltic (I) - Font: HELCOM



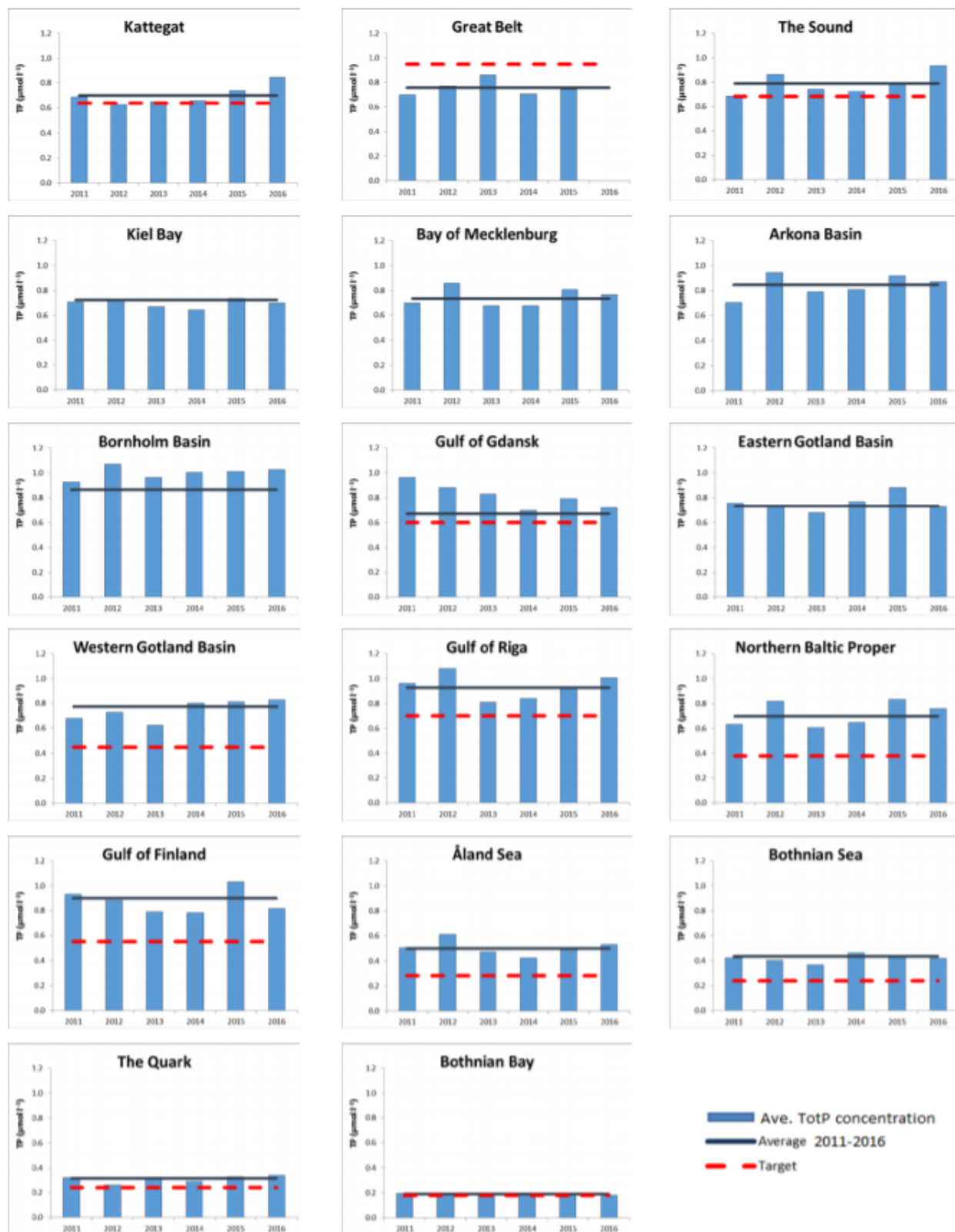
Il·lustració 6. Gràfics indicadors del compliment dels objectius de fòsfor total (per zones) en el mar Bàltic (II) - Font: HELCOM

Com es pot observar, en casi totes les zones els valors de fòsfor total han sigut més alts que els valors objectiu, any rere any. Es pot observar això de forma resumida en el següent mapa indicador:



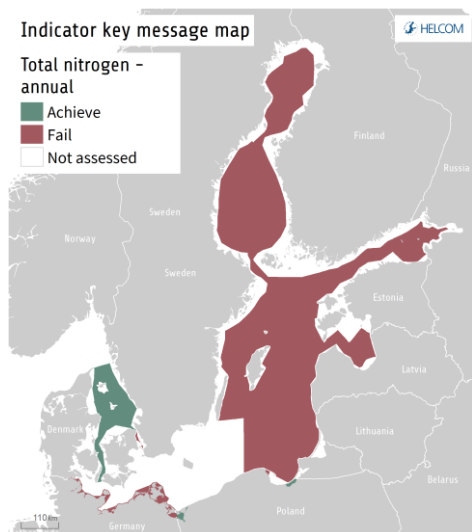
Il·lustració 7. Mapa indicador del compliment de les quantitats totals anuals adequades de fòsfor en el mar Bàltic - Font: HELCOM

Nitrogen



Il·lustració 8. Gràfics indicadors del compliment dels objectius de nitrogen total (per zones) en el mar Bàltic - Font: HELCOM

Igual que amb el fòsfor, els nivells totals de nitrogen han estat més alts que els nivells objectiu en casi totes les zones. De forma resumida:



Il·lustració 9. Mapa indicador del compliment de les quantitats totals anuals adequades de nitrogen en el mar Bàltic - Font: HELCOM

2.2.5 Baltic Sea Action Plan

El Baltic Sea Action Plan és un programa que van firmar els països de la costa del mar Bàltic que formen part de la Unió Europea. Té la intenció de restaurar una bona situació ecològica i ambiental en el mar Bàltic cap a l'any 2021. A continuació es pot veure la taula amb els objectius de reducció d'aportació dels nutrients per països:

País	Aportació mitjana de nitrogen entre 1997 i 2003	Aportació mitjana de fòsfor entre 1997 i 2003	Objectiu de reducció de nitrogen per 2021	Objectiu de reducció de fòsfor per 2021	Reducció % nitrogen	Reducció % fòsfor
	Tones/any	Tones/any	Tones/any	Tones/any		
Dinamarca	70.490	1.928	2.890	38	4	2
Estònia	27.684	804	1.800	320	7	40
Finlàndia	88.005	3.609	3.030	356	3	10
Alemanya	65.672	627	7.670	170	12	27
Letònia	61.164	829	1.670	220	3	27
Lituània	48.689	2.463	8.970	1.470	18	60

Polònia	212.412	11.787	43.610	7.480	21	63
Rússia	87.122	7.142	10.380	3.790	12	53
Suècia	130.279	3.639	9.240	530	7	15
Aportació de països de la HELCOM	791.517	32.828	89.260	14.374	11	44
Aportació d'altres països no signataris*	21.421	1.979				
Nutrients d'altres fonts**	97.405	2.087				
Total del mar Bàltic	910.343	36.894	118.134	15.178	13	41

*Aportacions fluvials transfronterers de nutrients procedents de la República Checa, Ucraïna i Bielorússia.

**Aportacions del transport marítim i contaminació atmosfèrica generada de tots els països de la UE no inclosos en la conca fluvial del mar Bàltic.

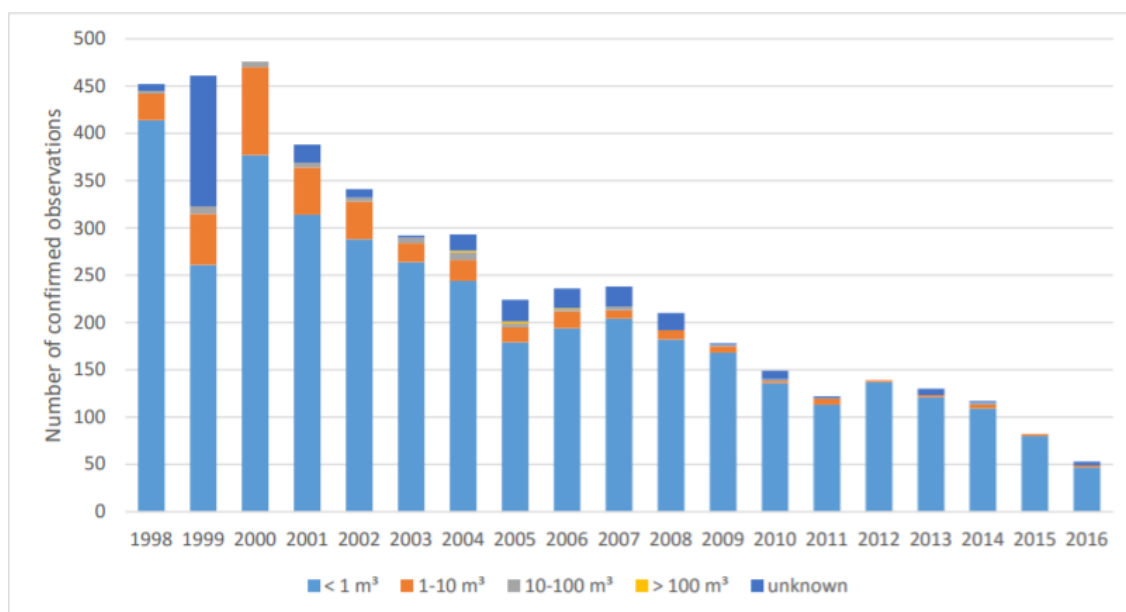
Taula 1. Objectius de reducció d'aportació de nutrients - Font: Pròpia (Dades del Tribunal de Comptes Europeus)

2.3 Altres indicadors sobre l'estat del mar Bàltic

A continuació també es mostraran altres indicadors d'interès per poder apreciar l'estat ambiental del mar Bàltic.

2.3.1 Vessaments operatius de petroli dels vaixells

Com s'ha vist anteriorment, grans quantitats de petroli són transportades en la zona del mar Bàltic, apart de que la majoria de vaixells fan servir combustibles derivats del petroli. Degut a aquests fets es produeixen vessaments tant intencionats com per culpa de la negligència durant operacions com la descarrega d'aigües de sentina. També es produeixen vessaments per culpa d'accidents. Els vessaments de petroli representen un important perill pels diferents organismes presents en la zona com peixos, aus o flora marina.

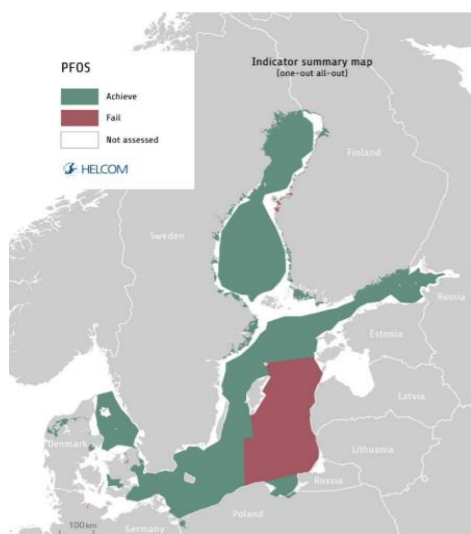


II-lustració 10. Número i tampanyes dels vessaments de petroli detectats durant els anys - Font: HELCOM

Com es pot observar hi ha hagut una clara tendència decreixent al llarg dels anys, arribant les quantitats a mínims històrics. És una tendència molt bona aconseguida sobretot degut a les mesures implementades per les autoritats en els últims anys.

2.3.2 Àcid perfluorooctanosulfònic (PFOS)

PFOS és un compost tòxic molt persistent i amb capacitat bioacumulativa amb possibles efectes sobre els sistemes immunològics i reproductius en organismes. Es considerat un contaminant global. Ha estat produït i fet servir des dels anys 50 en les indústries tèxtils per crear materials resistents a l'aigua i als olis. Els humans també estan exposats als riscos d'aquest contaminant a través de la consumició d'espècies animals ja contaminades.

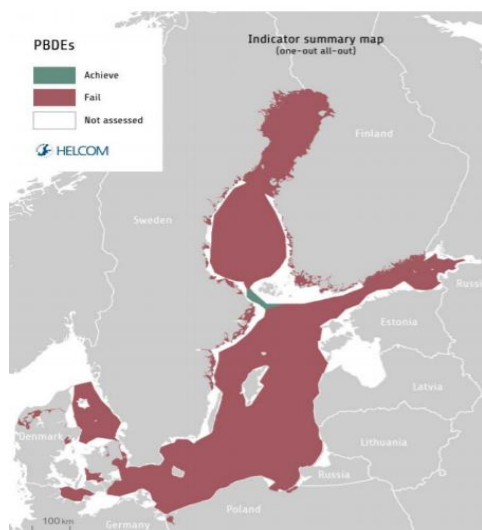


II-lustració 11. Indicador del compliment de les quantitats adequades de PFOS en la zona del mar Bàltic - Font: HELCOM

Com es pot observar en el mapa proporcionat per HELCOM, en la major part de la zona s'han aconseguit uns nivells adequats d'àcid perfluorooctanosulfònic.

2.3.3 Èter difenilic polibromat (PDBE)

PDBE és una substància tòxica persistent i bio-acumulables en els organismes marins com els peixos. Al igual que el PFOS pot arribar a afectar l'organisme humà a través de la ingesta de mariscs o peixos que ja estiguin intoxicats. Està demostrat que aquesta substància pot afectar la fertilitat en els humans.



Il·lustració 12. Indicador del compliment de les quantitats totals adequades (suma de concentració en sediments i en la biota) de PDBE en la zona del mar Bàltic - Font: HELCOM

Encara que en els sediments els nivells són correctes, en la biota, en tota la zona els nivells estan molt per sobre dels nivells adequats de 0,0085 µg/kg pes humit. Els nivells en la biota varien entre 0,03 i 0,82 ng/g pes humit, per tant com es pot veure en el mapa anterior, en casi tota la zona, les concentracions totals superen els límits adequats.

2.3.4 Metalls pesats (Pb, Cd, Hg)

Els metalls pesats com el plom, cadmi o el mercuri són tòxics pels organismes marins quan hi ha una gran concentració. Son metalls que poden ser acumulats en els organismes i causar efectes nocius. A més a més es coneix que els seus efectes poden incrementar-se a través de la cadena alimentaria. Aquests metalls apart d'afectar directament un organisme individual, poden causar diferents efectes biològics com el canvi de la població d'una espècie, afectar la biodiversitat o el funcionament d'un ecosistema. Quan una persona consumeix peix que té metalls pesats acumulats, la seva salut pot ser afectada.

Els estudis mostren que en el mar Bàltic el nivell de Hg en la biota excedeix el llindar de 20 µg kg⁻¹ pes humit en casi tota la zona. En alguns casos s'han detectat valors de 58 µg kg⁻¹ pes humit.

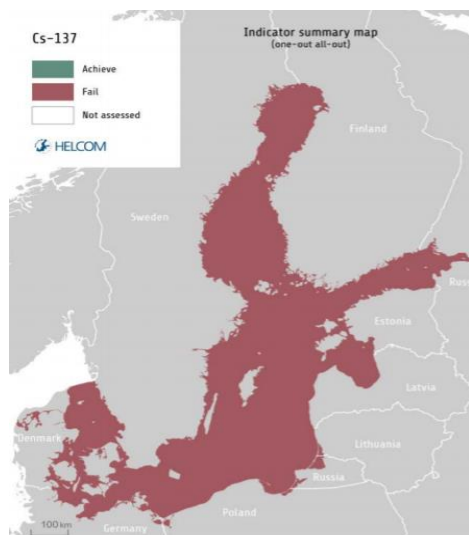
Pel cadmi, el valor llindar que s'ha decidit en l'aigua és de 0,2 µg l⁻¹. En la majoria de casos les concentracions estan sota d'aquest llindar. Mentre que en la biota, el nivell llindar de 137,3 µg kg⁻¹ pes humit, es superat en casi tota la zona entre 1,5 i 2,5 vegades. En el cas dels sediments, els indicadors

mostren resultats mixtos, estant gran part de la zona sota el llindar de $2,3 \text{ mg kg}^{-1}$ pes sec, mentre que en un altres casos arriba a ser superat fins a quatre vegades.

Respecte el plom, els nivells presents en el agua estan dins del llindar acordat de $1,3 \mu\text{g l}^{-1}$ en la majoria de les mostres agafades de les diferents zones. En el cas de la biota els resultats no son tan bons, els nivells correctes ($10,4 \mu\text{g kg}^{-1}$) han sigut superats en algun cas fins a 20 vegades. En el cas dels sediments, els resultats son bastant bons, complint en casi tota la zona amb el llindar de 120 mg kg^{-1} .

2.3.5 Cesium-137

El Cesium-137 es un isòtop radioactiu que va ser introduït al mar Bàltic per culpa del accident produït en el Txernòbil l'any 1986. S'acumula en la flora, fauna i sediments marins. Pot causar càncer fins i tot després de 10, 20 o 30 anys a partir de l'entrada en contacte amb l'organisme. Es considera que un nivell correcte de la quantitats d'aquest isòtop en el mar Bàltic seria el que hi havia abans de que es produís l'accident nuclear. Actualment els nivells estan per sobre i s'espera que això canviï cap a l'any 2025.



Il·lustració 13. Indicador del compliment de les quantitats adequades de Cesium-137 en el mar Bàltic - Font: HELCOM

2.4 Conclusions capítol

Com es pot observar l'estat del mar Bàltic està molt afectat per la contaminació. Apart del problema principal que és l'eutrofització, s'ha vist que també estan presents altres contaminants en quantitats bastant importants.

S'ha pogut veure que els valors llindar de nutrients han sigut superats en casi totes les zones durant els últims anys. A l'igual passa amb els valors dels altres indicadors, que en la majoria de casos són més alts que els objectius proposats.

Respecte a la contaminació per aigües residuals originades pels vaixells, s'ha vist que tenen una contribució molt petita, però encara així, en vista del panorama present, no es pot deixar aquesta font sense una solució.

Capítol 3. Característiques de l'aigua residual

3.1 Introducció

Un dels objectius més importants en el tractament de l'aigua residual és la protecció del medi ambient tenint en compte les conseqüències econòmiques, socials i de salut que pot tenir. En aquest capítol es repassaran les raons pels quals s'ha de tractar l'aigua residual, les seves característiques i quins contaminants pot contenir.

3.2 Raons per tractar l'aigua residual

Les raons perquè existeix la necessitat de tractar l'aigua residual són:

- Preocupacions per la salut: en aquest tipus d'aigües poden trobar-se organismes que produeixen malalties. Un dels problemes més importants des d'aquest punt de vista, és que si les aigües residuals no són tractades, podrien arribar a entrar en contacte amb fonts d'aigua que consumim, i en conseqüència sobrecarregar els sistemes de tractament, existint el perill de que organismes que podrien provocar efectes com irritacions intestinals no arribin a ser eliminats i provocar-nos problemes per la salut. També existeix la possibilitat de que es produeixi un efecte en cadena: organismes com peixos a l'entrar en contacte amb contaminants d'aigües residuals poden acumular-los i en la següent etapa, quan les persones consumeixin aquests peixos, arribin a ingerir també els contaminants amb els problemes que això suposa.
- Preocupacions pel medi ambient: les fonts d'aigua que reben la descarrega d'aigües residuals són incapaces d'absorbir i neutralitzar la càrrega de contaminants, i per culpa d'això perden les seves condicions naturals i la capacitat de sostenir la vida, afectant tant la flora com la fauna. Es perd l'equilibri ecològic i les fonts d'aigua es transformen en inservibles.
- Preocupacions estètiques: la descarrega d'aigües residuals en aigües de rius, llacs o mars, poden produir males olors i decoloracions. Això pot afectar tant des d'un punt de vista estètic, com des d'un punt de vista de realitzar activitats, com per exemple banyar-se en aquell entorn.
- Danys a propietats: les olors i gasos que poden desprendre les aigües residuals, poden afectar les pintures de les cases, mentre que la descarrega d'aigües residuals en altres grans masses d'aigua poden arribar a provocar danys en els vaixells.

3.3 Característiques de l'aigua residual

Entendre la naturalesa de l'aigua residual és essencial per poder dissenyar un sistema de tractament adequat. Això inclou poder escollir correctament el sistema de recollida de l'aigua, el sistema de tractament de l'aigua, i el sistema de tractament posterior dels residus generats. A continuació s'exposa

una llista de diverses propietats i característiques que poden ser d'interès a l'hora de tractar l'aigua residual.

3.3.1 Característiques físiques

- **Sòlids totals:** el contingut de sòlids totals es defineix com la matèria obtinguda com residu després de sotmetre l'aigua a un procés d'evaporació a una temperatura d'uns 105 graus Celsius durant 60 minuts. Els sòlids que sedimenten donen una aproximació de la quantitat de fang que s'obtingria al sedimentar l'aigua residual. A més a més, aquests sòlids es classifiquen en filtrables i no filtrables.
- **Olors:** les olors es produeixen degut als gasos alliberats durant el procés de descomposició de la matèria orgànica.
- **Temperatura:** és un paràmetre molt important, ja que té una gran influència sobre el desenvolupament de la vida aquàtica, les reaccions químiques i la velocitat de les reaccions.
- **Densitat:** és una característica física important degut a que d'ella depèn el potencial de formació de corrents de densitat en fangs de sedimentació i altres instal·lacions de tractament.
- **Color:** el color de l'aigua residual dona una indicació aproximada de la seva composició i concentració. També serveix per determinar l'edat de l'aigua.
- **Terbolesa:** indica la quantitat de matèria col·loidal i residual en suspensió que hi ha present en l'aigua. Per mesurar-la, es mesura la transmissió de la llum a través de l'aigua i es compara amb la d'una mostra.

3.3.2 Característiques químiques

- **Matèria orgànica:** aproximadament 75% dels sòlids en suspensió i 40% de sòlids filtrables són de naturalesa orgànica. Els compostos orgànics solen estar formats per combinacions de carboni, hidrogen, oxigen i nitrogen. A vegades també poden estar presents elements com el sofre, el fòsfor o el ferro. Els principals grups de substàncies orgàniques presents en l'aigua residual són: proteïnes, hidrats de carboni, grasses i olis.
- **Mesura de la matèria orgànica:** els mètodes que més es fan servir per determinar el contingut orgànic de les aigües residuals són:
 1. **Demanda bioquímica d'oxigen (DBO)** – està relacionada amb la mesura d'oxigen dissolt que consumeixen els microorganismes en el procés d'oxidació bioquímica de la matèria orgànica.
 2. **Demanda química d'oxigen (DQO)** – amb l'ajut d'un agent químic molt oxidant en un medi molt àcid es determina l'equivalent d'oxigen de la matèria orgànica que pot oxidar-se.
 3. **Carboni total (COT)** – es fa servir quan la quantitat de matèria orgànica present en l'aigua és molt petita. Amb l'ajuda d'un catalitzador, el carboni orgànic s'oxida a anhídrid carbònic, la quantitat del qual es mesura amb un analitzador infraroig.
- **Matèria inorgànica:** els components inorgànics de l'aigua tenen una gran importància per determinar la seva qualitat. Propietats importants a estudiar:

1. pH – defineix la concentració del ió hidrogen. L'aigua residual amb concentracions inadequades presenta dificultats per ser tractada amb processos biològics.
 2. Clorurs – és un altre paràmetre important que ens indica la qualitat de l'aigua.
 3. Alcalinitat – ens indica la presència d'hidròxids, carbonats i bicarbonats d'elements com el calci, magnesi, sodi, potassi o amoníac. És un paràmetre important en els processos de tractament químic.
 4. Nitrogen – es un indicador bàsic per poder valorar la possibilitat de tractat les aigües residuals mitjançant processos biològics. És un nutrient que en concentracions altes provoca problemes en el medi, l'eutrofització.
 5. Fòsfor – a l'igual que el nitrogen, és un nutrient, que pot provocar proliferacions d'espècies no desitjades en un medi aquàtic.
 6. Sofre – en grans concentracions pot alterar un procés biològic de tractament. També pot donar-se el cas de que es produeixin gasos corrosius.
 7. Metalls pesats: en grans quantitats són tòxics, provocant que per determinats usos, l'aigua sigui inservible.
- Gasos: els gasos que més es troben en les aigües residuals són: el nitrogen, l'oxigen, el diòxid de carboni, el sulfur d'hidrogen, l'amoníac i el metà. Els tres primers són gasos presents en l'atmosfera, per tant és normal que també estiguin presents en l'aigua, mentre que els tres últims, són procedents de la descomposició de la matèria orgànica.

3.3.3 Característiques biològiques

- Microorganismes: és molt important conèixer el seu metabolisme, funcions i característiques, ja que tenen un paper molt important en diverses fases del tractament de l'aigua residual. Els principals són:
 1. Bactèries – tenen un paper molt important en el procés de descomposició i estabilització de la matèria orgànica.
 2. Fongs – a l'igual que les bactèries, són molt importants en la degradació de la matèria orgànica.
 3. Algues – poden donar-se casos de creixement exponencial quan hi ha molta quantitat de nutrient. Si això es produeix, poden cobrir grans superfícies d'aigua i condicionar de manera molt significativa l'ecosistema.
 4. Protozous – s'alimenten de bactèries i altres organismes microscòpics, per tant tenen una gran importància en els processos biològics, ja que controlant-los es pot controlar l'equilibri entre els diferents tipus de microorganismes.
 5. Plantes i animals – conèixer l'estat d'aquests organismes és útil per valorar i determinar l'estat i la toxicitat de les aigües.
 6. Virus – és molt important controlar els virus ja que representen un gran perill per la salut pública. Poden sobreviure en aigües netes o residuals fins a 41 dies.
- Organismes patògens: els organismes patògens que es troben en les aigües residuals poden procedir de deixalles humanes provinents de persones que estiguin infectades o que siguin portadores d'alguna malaltia. Per això és molt important controlar-los, ja que són molt infecciosos i cada any provoquen un gran numero de morts.

- Organismes utilitzats com indicadors de contaminació: ja que resulta difícil identificar i aïllar els organismes patògens, el que es fa es estudiar la presència d'organismes coliformes que són organismes indicadors. Són més fàcils d'estudiar i són molt més nombrosos. Estan presents en els intestins humans i tenen forma de bastonets. A l'hora d'evacuar, els humans alliberen grans quantitats d'organismes coliformes, per tant es considera que la presència de coliforms en l'aigua residual és un indicador d'una possible presència d'organismes patògens. En cas de que no n'hi hagin, es considera que les aigües estan netes d'organismes que podrien causar malalties.
- Assaigs de toxicitat: són utilitzats per a diverses finalitats com:
 1. Constatar l'aptitud de les condicions ambientals per el desenvolupament de determinades formes de vida aquàtica.
 2. Establir les concentracions acceptables dels diferents paràmetres convencionals de les aigües receptores (oxigen dissolt, pH, temperatura...)
 3. Estudiar l'influència dels paràmetres de qualitat de l'aigua sobre la toxicitat de la mateixa.
 4. Estudiar la toxicitat de l'aigua per determinades espècies d'organismes com peixos.
 5. Establir la sensibilitat relativa d'un conjunt d'organismes aquàtics als efluent i a contaminants habituals.
 6. Determinació del nivell de tractament necessari de les aigües residuals per complir amb la legislació.
 7. Establir els límits autoritzats de descarrega d'efluents.
 8. Determinació d'efectivitat dels processos de tractament d'aigües residuals.

3.4 Contaminants d'importància en el tractament d'aigua residual

Els contaminants més importants en el tractament d'aigua residual són:

- Sòlids en suspensió: els sòlids en suspensió poden donar lloc a dipòsits de fangs i poden provocar condicions anaeròbiques quan són descarregats sense tractament en un medi ambient aquàtic.
- Matèria orgànica biodegradable: està composta principalment de proteïnes, carbohidrats, i grasses. Es sol mesurar en DBO (demanda bioquímica d'oxigen) i DQO (demanda química d'oxigen). Si es descarrega sense tractament al medi ambient, pot provocar esgotament dels recursos naturals d'oxigen i el desenvolupament de condicions sèptiques¹.
- Patògens: els patògens poden transmetre malalties contagioses.
- Nutrients: el nitrogen, el fòsfor, o el carboni, són nutrients essencials pel creixement. Quan arriben al medi aquàtic, afavoreixen el creixement d'una vida aquàtica no desitjada. En el cas de que s'aboquin al terra en quantitats excessives, podrien arribar a l'aigua subterrània i contaminar-la.

¹ Condicions sèptiques - condicions en les quals es produeix la putrefacció.

- Matèria orgànica refractària: és un tipus de matèria que tendeix a resistir els mètodes convencionals de tractament. Exemples típics són els agents tensioactius, els fenols i les pesticides.
- Metalls pesats: els metalls pesats com el cadmi, plom o mercuri solen arribar a l'aigua durant activitats comercials o industrials. En quantitats excessives són tòxics pels organismes marins o pels humans.
- Sòlids inorgànics dissolts: els constituents inorgànics com el calci, sodi i els sulfats s'afegeixen a l'aigua com conseqüència del seu propi ús. S'han d'eliminar si es pretén reutilitzar l'aigua residual.

3.5 Conclusions capítol

Hi ha raons molt importants perquè l'aigua residual hagi de ser tractada d'una forma adequada i responsable. En cas contrari pot provocar grans perjudicis tant pels humans com pel medi ambient, entre altres. També és important estudiar les diverses propietats i característiques de les aigües residuals per poder tractar-les correctament. No menys important es conèixer els contaminants que poden estar presents.

Capítol 4. Operacions de tractament

4.1 Nivells de tractament

Abans del tractament, s'ha d'establir el nivell d'eliminació de contaminants al qual es vol arribar. D'una manera molt general es poden descriure els següents nivells:

4.1.1 Pretractament de les aigües residuals

El pretractament de les aigües residuals consisteix en l'eliminació dels residus que poden provocar problemes de manteniment i funcionament de diversos processos, operacions o sistemes auxiliars. Se sol limitar a eliminar els sòlids de mida més gran que pugui provocar problemes d'obstrucció i desgast.

4.1.2 Tractament primari de les aigües residuals

En aquest nivell s'elimina una fracció dels sòlids en suspensió i de la matèria orgànica present. Avui en dia, aquest nivell sol ser un pas previ al tractament secundari.

4.1.3 Tractament secundari convencional

Aquest nivell està enfocat a l'eliminació dels sòlids en suspensió i dels compostos orgànics biodegradables, i a vegades s'inclou la desinfecció.

4.1.4 Control i eliminació de nutrients

Aquest procés és molt important per evitar la posterior eutrofització al abocar l'efluent en un medi aquos. Els principals nutrients són el nitrogen i el fòsfor, i la seva eliminació es pot dur a terme per processos químics, biològics o una combinació dels dos.

4.1.5 Tractament avançat

El tractament avançat es fa servir en els casos quan amb el tractament secundari convencional no és suficient i es vol aconseguir una qualitat d'aigua encara més bona. Se sol aplicar aquest nivell quan l'aigua vol ser reutilitzada.

4.1.6 Tractament de contaminants especials

És el nivell en el qual s'eliminen substàncies tòxiques i contaminants especials com per exemples els metalls pesats. Se sol aconseguir mitjançant una combinació fisicoquímica.

4.2 Classificació de les operacions i processos de tractament

A continuació es veurà una classificació general de les diverses operacions i processos que es fan servir pel tractament d'aigües residuals.

4.2.1 Operacions físiques unitàries

Són els mètodes en els quals predomina l'acció de les forces físiques, que es coneixen com operacions físiques unitàries. Van ser els primers mètodes que es van començar a fer servir pel tractament d'aigües residuals. Exemples d'operacions unitàries típiques són: desbast, barrejat, floculació, sedimentació, flotació, transferència de gasos o filtració.

4.2.2 Processos químics unitaris

Amb aquests mètodes, l'eliminació o conversió dels contaminants s'aconsegueix amb l'adició de productes químics o gràcies al desenvolupament de reaccions químiques. Exemples de processos químics unitaris són: precipitació, adsorció o desinfecció.

4.2.3 Processos biològics unitaris

Són els processos de tractaments en els quals l'eliminació de contaminants es du a terme gràcies a l'activitat biològica de diversos tipus de microorganismes, principalment bacteries. La principal aplicació dels processos biològics és l'eliminació de les substàncies orgàniques biodegradables presents en les aigües residuals. S'aconsegueix que aquestes substàncies es converteixin en gasos que s'alliberen a l'atmosfera, i teixits cel·lulars biològics, eliminables per sedimentació.

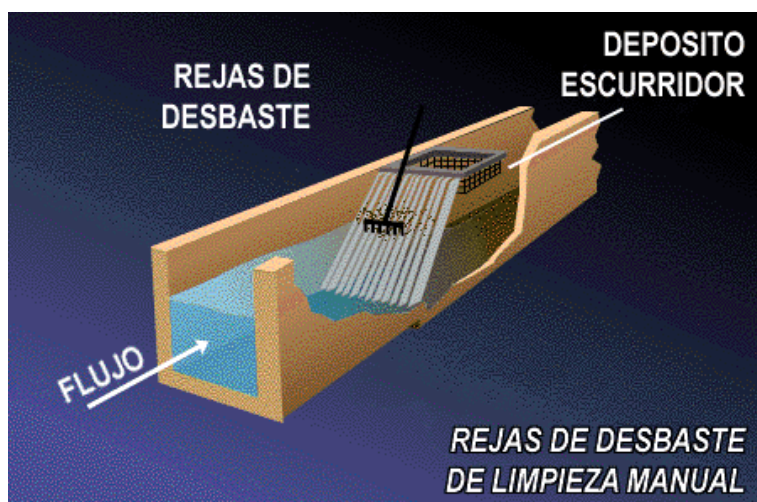
4.3 Descripció de les operacions físiques unitàries

En els següents subapartats es descriuran breument les operacions físiques unitàries més importants i més comunes en el procés de tractament d'aigües residuals.

4.3.1 Desbast

És una de les primeres operacions unitàries que s'aplica en les plantes de tractament. Consisteix en la utilització d'elements separadors amb obertures, generalment de mida uniforme, que es fan servir per retenir els sòlids grossos que existeixen en les aigües residuals.

Els elements separadors poden ser barres, filferros, reixetes, teles metàl·liques o plaques perforades. Les obertures poden ser de qualsevol forma, encara que normalment solen ser rectangulars o circulars. Aquests elements poden ser de neteja manual o automàtica.



Il·lustració 14. Reixes de desbast de neteja manual - Font: Aula Virtual del Agua (Universitat de Salamanca)

4.3.2 Barreja

La barreja és una operació de gran importància en diverses fases del tractament d'aigües residuals, com en les següents casos: barreja completa d'una substància amb un altre, barreja de suspensions líquides, barreja de líquids miscibles, floculació, i transferència de calor.

Es poden classificar dos tipus de barreja: ràpida continua de productes químics i continua en reactors i tancs de reacció. Les ràpides continues se solen fer servir per casos en el que s'ha de barrejar una substància amb una altra, mentre que l'altre tipus es fa servir en el cas en els que s'ha de mantenir la suspensió del contingut del reactor o del depòsit.

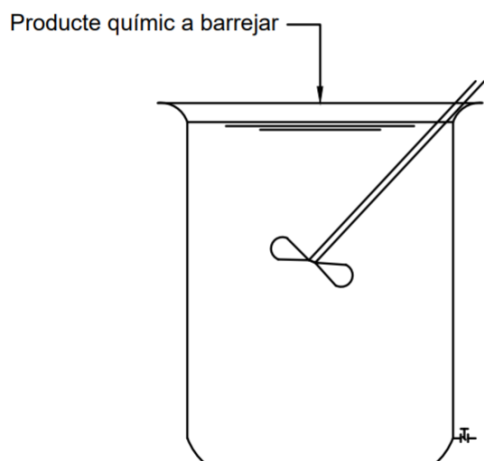
Sistemes per la barreja segons el tipus de barreja:

- *Ràpida continua*: ressalts hidràulics en canals, dispositius Venturi, conduccions, per bombeig, barrejadors estàtics, barrejadors mecànics.

En el cas dels quatre primers, la barreja s'aconsegueix mitjançant turbulències en el règim del flux. En els barrejadors estàtics, les turbulències es produeixen com conseqüència de la dissipació d'energia, mentre que en els mecànics, les turbulències s'aconsegueixen amb impulsors giratoris com les paletes, hèlixs o turbines.

- *Continua*: barrejadors mecànics, mecanismes neumàtics, barrejadors estàtics i per bombeig.

El barrejat mecànic es fa de la mateixa manera que en la barreja ràpida contínua, mentre que en el cas del sistema nemàtic es fa servir injecció de gasos.



Il·lustració 15. Esquema exemple de barrejador mecànic d'hèlix - Font: Pròpia

4.3.3 Sedimentació

La sedimentació consisteix en la separació, per l'acció de la gravetat, de les partícules suspeses amb un pes específic més gran que el de l'aigua. És una de les operacions més utilitzades en el tractament d'aigües residuals. En funció de la concentració i de la tendència a la interacció de les partícules, es poden produir quatre tipus de sedimentació:

- De partícules discretes: es refereix a la sedimentació de partícules en una suspensió amb baixa concentració de sòlids. Les partícules sedimenten com entitats individuals i no interactuen amb les altres.
- Floculant: es refereix a una suspensió de partícules bastant diluïda que s'agreguen (o floculen) durant el procés de sedimentació. Al ajuntar-se, les partícules augmenten de mida i sedimenten a major velocitat.
- Retardada: es refereix a suspensions de concentració mitjana, en les que les partícules tenen força suficient per dificultar la sedimentació de les partícules veïnes. Les partícules tendeixen a estar a posicions relatives fixes, i la massa de les partícules sedimenta com una unitat.
- Compensió: es refereix a la sedimentació en la que les partícules estan concentrades de forma que es crea una estructura, i la sedimentació pot tenir lloc només com conseqüència de la compressió d'aquesta estructura. Aquesta compressió es produeix degut al pes de les partícules que es van afegint contínuament sobre l'estructura formada.

La sedimentació, també es pot realitzar per l'acció d'altres camps d'acceleracions apart del de gravetat. S'aprofiten altres forces com per exemple la centrífuga per generar una sedimentació accelerada.

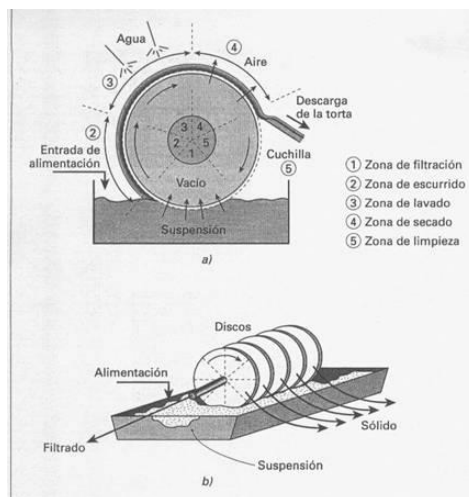
4.3.4 Flotació

La flotació és una operació que s'aplica per la separació de partícules sòlides o líquides d'una fase líquida. La separació s'aconsegueix introduint petites bombolles de gas, normalment aire, en la fase líquida. Aquestes bombolles s'adhereixen a les partícules i en conseqüència el conjunt bombolla-aire puja a la superfície del líquid. Un cop les partícules estan a la superfície, es poden recollir.

4.3.5 Filtració

Els procés de filtració és un dels més importants en el tractament d'aigües residuals. Es fa servir sobretot per aconseguir una major eliminació dels sòlids en suspensió en els efluents procedents de tractaments biològics i químics. També es fa servir per eliminar el fòsfor precipitat per via química. Aquesta operació consisteix de dues fases: filtració i neteja. En funció de la neteja dels filtres, podem classificar-los en dues categories:

- Filtres de funcionament semicontinu: en la fase de filtració en la qual s'elimina la matèria en partícules, es fa circular aigua a través d'un llit granular, podent-se afegir en determinats casos reactius químics. Aquest estrat granular, elimina els residus en suspensió i pot estar format de diversos mecanismes que tenen funcions com les d'intercepció, sedimentació o adsorció. Després d'un temps de filtrat, s'arriba a un moment que l'efluent comença a augmentar el contingut de sòlids en suspensió fins a un límit màxim acceptable, o alternativament es pot arribar a que hi hagi una pèrdua de càrrega molt gran. En aquesta fase, no es pot seguir filtrant més i s'ha de netejar el filtre. Per fer-ho s'aplica un caudal d'aigua neta en sentit contrari al que treballa normalment el filtre.
- Filtres de funcionament continu: en aquest tipus de filtres, la fase de filtració i la de neteja es realitzen simultàniament. Aquests filtres solen estar constituïts de diverses cel·les que a través d'un mecanisme es van netejant, una per una, consecutivament. Aquest mecanisme va aïllant la cel·la del filtre a la que toca netejar, mentre que les altres segueixen treballant, d'aquesta manera el procés de filtració no es para en cap moment. Un altra alternativa són els filtres de tambor o discs rotatoris. Aquests tambors o discs estan revestits d'una membrana, de la qual en cada moment només una part està filtrant ja que va girant submergit parcialment en el dipòsit amb l'aigua bruta. En aquest mateix procés de rotació la membrana va descarregant els residus i es va netejant.



Il·lustració 16. Filtre de tambor - Font: Universitat de Sevilla

4.3.6 Transferència de gasos

Mitjançant aquest fenomen es transfereix gas d'una fase a una altra, normalment de la fase gasosa a la líquida. Es un procés que es fa servir moltes vegades en el tractament d'aigües residuals. Alguns exemples són: afegir clor en forma gasosa a una dissolució en aigua per desinfectar; o en processos aerobis, com la filtració biològica, el funcionament del procés depèn de que hi hagi suficient oxigen, per tant es va afegint oxigen al efluent.

4.4 Descripció dels processos químics unitaris

Es descriuran de forma resumida els processos químics unitaris més importants en el tractament d'aigües residuals.

4.4.1 Precipitació química

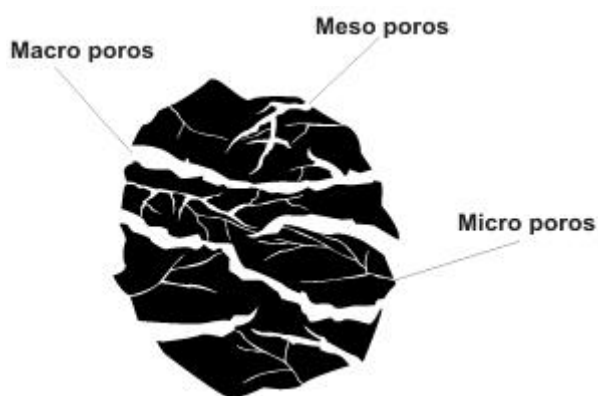
La precipitació química en el tractament d'aigües residuals consisteix en l'addició de productes químics amb la finalitat d'alterar l'estat físic dels sòlids dissolts i en suspensió, i facilitar d'aquesta manera la seva eliminació a través de la sedimentació. Amb la precipitació química s'aconsegueix una sedimentació entre 20 i 30% més efectiva que la sedimentació simple. A partir de l'any 1970, aquest procés ha provocat un gran interès degut a la gran capacitat de ser utilitzat per a l'eliminació de compostos orgànics i dels nutrients com el nitrogen i el fòsfor.

Alguns dels productes químics més utilitzats són: sulfat d'alúmina, clorur fèrric, sulfat fèrric, sulfat ferros i cal. Aquests productes quan s'afegeixen a l'aigua residual, reaccionen amb les substàncies que conté habitualment.

4.4.2 Adsorció

El procés d'adsorció consisteix en la captació de substàncies solubles presents en la interfase d'una solució. Aquesta interfase pot ser entre un líquid i un gas, entre un líquid i un sòlid, o entre dos líquids diferents. Aquest procés no es va fer servir fins fa uns anys, davant la necessitat d'aconseguir un efluent procedent del tractament d'aigües residuals, d'una qualitat superior. En el procés d'adsorció s'aplica carboni activat, que serveix per eliminar part de la matèria orgànica dissolta. També s'aconsegueix eliminar part de la matèria que estigui en forma de partícules.

El carboni activat s'elabora a partir de materials com l'escorça d'arbres com l'ametller, el noguer o les palmeres i carboni mineral. El carboni s'obté escalfant el material per expulsar els hidrocarburs, controlant sempre l'aire ja que s'ha d'evitar la combustió. Finalment s'exposa a un gas oxidant a altes temperatures, que fa que apareixen grans superfícies internes. Els porus que presenta el carboni activat serveixen per adsorbir a la seva superfície els contaminants de l'aigua que passa a través d'ell.



Il·lustració 17. Esquema del carboni activat - Font:
<https://www.carbotecnia.info/>

Els filtres de carboni activat també necessiten ser periòdicament netejats i se sol fer amb aigua neta que es bombeja en sentit contrari al que treballa normalment el filtre.

4.4.3 Desinfecció

La desinfecció consisteix en la destrucció selectiva dels organismes que causen malalties. S'ha d'especificar que en el procés de desinfecció no es destrueixen tots els organismes, a diferència de la esterilització, que consisteix en la destrucció de tots. En les aigües residuals, els organismes entèrics² d'origen humà amb més perill i probabilitat de produir una malaltia són: les bacteries, els virus i els protozous. Les malalties típiques bacterianes són: el tifus, el paratífus, el còlera i disenteria. En el cas dels virus es poden destacar la poliomielitis i la hepatitis infecciosa.

Els agents químics més utilitzats per la desinfecció són: brom, iode, clor i els seus compostos, ozó, fenol i compostos fenòlics, alcohols, metalls pesats, colorants, sabons, compostos amoniacals, aigua oxigenada, àcids i alcalins.

També per desinfectar es poden fer servir la llum, la calor o la radiació. Amb llampares o amb l'ajut dels raigs ultraviolats procedents del sol es pot aconseguir desinfectar petites quantitats d'aigua. En el cas de la calor, al fer arribar l'aigua a temperatura d'ebullició, s'aconsegueix destruir les principals bacteries que poden causar malalties. Per desinfectar amb radiació, es fan servir les radiacions del tipus electromagnètica, l'acústica o la de partícules.

4.4.4 Decloració

La decloració consisteix en l'eliminació de la totalitat del clor combinat residual present en el aigua després de que aquest es faci servir per desinfectar. El problema de fer servir el clor per destruir organismes patògens és que pot reaccionar amb altres compostos i formar compostos resultants tòxics. Per no afectar el medi ambient es fa necessari el procés de decloració, que se sol portar a terme amb l'ajut del diòxid de sofre o carboni activat.

4.5 Processos biològics unitaris

A continuació es mostrarà una classificació dels processos de tractament biològics i s'explicaran resumidament els processos de cada categoria.

4.5.1 Processos de tractament aerobi de cultius en suspensió

Són processos de tractament biològics en els que els microorganismes responsables de la conversió de la matèria orgànica carbonosa i altres constituents de l'aigua residual en gasos i teixits cel·lulars. Es mantenen en suspensió dins del líquid. Com són processos aerobis, és necessària la presència d'oxigen. Processos d'aquest tipus són:

² Entèric - relatiu o pertanyent als intestins.

- Procés de fangs activats: en un reactor o tanc d'aeració s'introdueix un cultiu de bactèries en suspensió. Aquestes bactèries utilitzen part de la matèria orgànica de l'aigua residual per obtenir energia per la síntesis de la resta de la matèria orgànica. En conseqüència s'originen altres productes finals senzills que són sedimentats i separats de l'aigua residual tractada. Aquesta última fase es du a terme en tancs de sedimentació. Part dels sediments son retornats al reactor per mantenir el procés biològic.
- Llacunes airejades: el procés es casi idèntic al de fangs activats amb excepció de que com dipòsit de les aigües es fan servir excavacions en el terra.
- Reactor discontinu seqüencial: procés semblant al de fangs activats, la diferencia està en que els procés de síntesis i de sedimentació es du a terme en el mateix tanc de forma seqüencial.

4.5.2 Processos de tractament aerobi de cultius fixes

Els processos de cultius fixes es fan servir normalment per eliminar la matèria orgànica present en l'aigua residual, però també es poden fer servir per nitrificar (convertir el nitrogen amoniacal en nitrat). Aquests processos inclouen:

- Filtres percoladors: consisteix en un llit format per un material molt permeable al qual s'adhereixen els microorganismes i a través del qual percola³ l'aigua residual. El material del que solen estar formats aquests filtres sol ser pedres o diferents materials plàstics. Un cop passat el filtre, l'aigua junt amb els sòlids biològics que s'hagin generat, es drena i es passa a un tanc de sedimentació.
- Filtres de desbast: són filtres percoladors per treballar amb carregues hidràuliques molt altes. Es fan servir principalment per reduir part de la matèria orgànica, facilitant la feina a processos que se li aplicaran a l'aigua residual posteriorment.
- Biodiscs: són reactors biològics rotatius de contacte formats per una sèrie de discs circulars, de poliestirè o de clorur de vinil, que estan situats sobre un eix. Els discs estan parcialment submergits en l'aigua residual i giren lentament. Els creixements biològics s'adhereixen a la seva superfície formant una capa biològica, i mentre va rotant, una part d'aquesta capa va entrant en contacte amb la matèria orgànica de l'aigua residual. Tota l'altre part del disc està a fora, en contacte amb l'atmosfera, afavorint d'aquesta manera les condicions aeròbies. Amb aquest mateix moviment rotatiu s'arrastra part dels sòlids presents en l'aigua i s'aconsegueix mantenir en suspensió els sòlids en el reactor que podran ser transportats fins a un clarificador.



Il·lustració 18. Biodiscs - Font: <https://www.aguasresiduales.info>

³ Percolar - es refereix al pas lent de fluids a través de materials porosos.

- Reactors de llit compacte (o fixe): es fan servir tant per la eliminació de la matèria orgànica carbònica com per la nitrificació. Consisteix en tanc (reactor) en el que existeix un medi al qual s'adhereixen microorganismes. L'aigua residual a tractar s'introdueix per la part inferior del tanc.

4.5.3 Processos de tractament anaerobi de cultius en suspensió

Amb aquests processos es produeix la descomposició de matèria en absència d'oxigen molecular. Aquest tipus de processos són:

- Digestió anaeròbia: amb aquest procés (que és el més important dels anaerobis de cultius en suspensió) es produeix la descomposició de la matèria orgànica e inorgànica. El principal ús d'aquesta tècnica és en el tractament de fangs concentrats procedents del tractament d'aigua residual i determinats residus industrials. El procés es fa en un reactor completament tancat a on s'introdueixen els fangs i es deixen durant un temps. La conversió en el reactor consisteix de 3 fases. La primera fase és la hidròlisis, que consisteix en la transformació per la via enzimàtica dels compostos d'alt pes molecular en compostos que puguin servir com fonts d'energia i carboni. La segona fase (acidogènesis), consisteix en la conversió bacteriana dels compostos produïts en la primera etapa en compostos intermedis, de menys pes molecular. Finalment, en la tercera etapa (metanogènesis), es produeix una conversió bacteriana dels compostos intermedis en productes finals simples, principalment metà i diòxid de carboni.
- Anaerobi de contacte: els residus a tractar es barregen amb els sòlids del fang retornat i s'envien a continuació a un reactor tancat per evitar l'entrada del aire. En el reactor es torna a barrejar i després de que es produeixi la digestió, la barreja es separa en un clarificador.
- Anaerobi de manta de fang de flux ascendent: el residu que es vulgui tractar s'introdueix per la part inferior del reactor. L'aigua residual circula en sentit ascendent a través d'una manta de fang constituït per partícules formades biològicament. Al entrar en contacte l'aigua i les partícules es produeix el tractament. Durant aquest procés es produeixen gasos (metà i diòxid de carboni) que provoquen una circulació interior. El gas es capta en la part superior, mentre que en la part inferior hi ha una càmera de sedimentació a on es separen els sòlids residuals.

4.5.4 Processos de tractament anaerobi de cultius fixes

Igual que els processos de tractament aerobi de cultius fixes, consisteix en que els microorganismes responsables de la conversió de la matèria orgànica i altres constituents de l'aigua residual en gasos i teixits cel·lulars, estan fixats en un medi inert, com per exemple pedres, escòries, materials ceràmics o plàstics especials. La diferencia del procés aerobi, és que en aquest cas no es necessari l'oxigen. Els processos més utilitzats són:

- De filtre anaerobi: que consisteix en una columna omplerta de diversos mitjans sòlids a través dels quals flueix l'aigua (en sentit ascendent) i entra en contacte amb les bactèries anaeròbies presents. Aquests filtres se solen fer servir per tractar residus de baixa concentració a temperatura ambient.
- De llit expandit: en aquest procés l'aigua residual es bombeja a través d'un llit fet de materials com sorra o carboni, en el qual s'ha desenvolupat un cultiu biològic.

4.5.5 Eliminació biològica de nutrients

Com en el cas de les aigües del mar Bàltic, on el problema dels nutrients (nitrogen i fòsfor) es cada cop més greu, es fan imprescindibles els processos per poder eliminar-los. Els processos biològics constitueixen un mitjà fiable per la seva eliminació i a un cost relativament baix.

Eliminació del nitrogen

En el cas del nitrogen, el podem trobar present de múltiples formes en l'aigua, i pot sofrir nombroses transformacions en el procés de tractament. Això permet convertir el nitrogen amoniacal en altres productes fàcilment separables de l'aigua residual. Degut a que el nitrogen és un nutrient, els microbis el poden assimilar i a incorporar-lo en la seva massa cel·lular, retornant una part d'ell un altre cop a l'aigua degut a la lisis i mort cel·lular. Un altre part del procés és el de nitrificació-desnitrificació, en el qual s'aconsegueix l'eliminació a través de dues etapes. En la primera (nitrificació), es redueix la demanda d'oxigen del amoníac mitjançant la seva conversió a nitrat. En el segon pas (la desnitrificació), el nitrat es converteix en un producte gasos que s'elimina.

Hi ha dos tipus de bactèries responsables del procés de nitrificació. El primer tipus, *Nitrosomas*, oxiden l'amoníac en nitrit, que és un producte intermedi, mentre que les *Nitrobacter*, transformen el nitrit en nitrat. En la següent fase, la desnitrificació, podem destacar les següent bactèries: *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Flavobacteriu*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* i *Spirillum*. Aquestes bactèries en absència d'oxigen transformen el nitrat en nitrogen gasos que es pot alliberar a l'atmosfera.

Eliminació del fòsfor

Els microbis utilitzen el fòsfor per la síntesis cel·lular i en el transport d'energia. Com conseqüència d'això s'elimina entre un 10 i un 30% del fòsfor present. Per tant s'ha d'aconseguir que s'elimini una quantitat molt més gran de la estrictament necessària pels organismes. Per aconseguir-ho, són necessàries certes condicions en les quals els organismes poden consumir més.

Els organismes que es fan servir per la eliminació del fòsfor són els *Acinobacter*. Aquests organismes consumeixen majors quantitats de fòsfor quan van passant primer una zona anaeròbia i després per una aeròbia.

En la fase anaeròbia, la cèl·lula utilitza la seva energia acumulada per metabolitzar els àcids grassos volàtils presents en l'aigua, emmagatzemant d'aquesta forma substrat carbonós i buidant part dels polifosfats que tenia emmagatzemats en forma de fosfats a l'aigua. En la fase aeròbia, la cèl·lula torna a assimilar els fosfats presents a l'aigua. Els torna a convertir en polifosfats d'alt contingut energètic i els acumula en la cèl·lula. Per aconseguir això la cèl·lula utilitza els substrats carbonosos emmagatzemats com font d'energia, retornant a l'aigua diòxid de carboni i aigua. A més a més, en aquest procés la cèl·lula es multiplica. En aquesta segona fase (aeròbia) la quantitat de fòsfor que es torna a emmagatzemar és molt més alta que la alliberada en la fase anaeròbia. Finalment, la biomassa rica en fòsfor ha de ser retirada per completar el procés d'eliminació del nutrient de l'aigua.

4.6 Tractament de fangs

En les operacions i processos de tractament de l'aigua residual es produeixen fangs que solen ser líquids o líquids semisòlids que contenen sòlids entre un 0,25 i 12% del pes total. Aquests fangs tenen el gran problema de que ocupen un gran volum, sent això una qüestió molt més important en un vaixell que en una instal·lació a terra. A més a més poden contenir a l'igual que l'aigua residual tractada de la qual provenen, contaminants i patògens perillosos per la salut i el medi ambient. Degut a això es fa imprescindible que també hagin de ser tractats.

4.6.1 Tipus de fangs

Segons de quina operació vinguin i els tipus d'aigües residuals que s'estiguin tractant en la planta, s'obtingran uns determinats tipus de fangs:

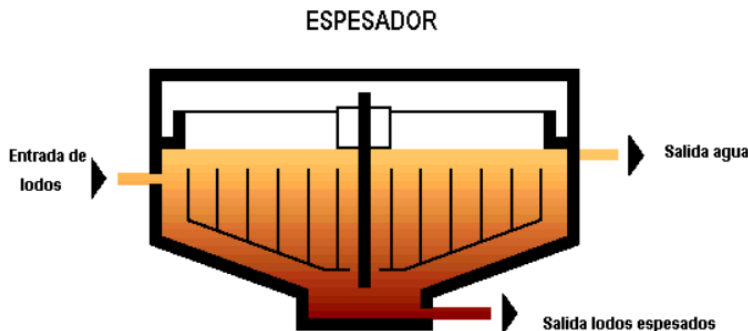
- Residus del desbast: inclou tot tipus de materials orgànics i inorgànics de gran mida.
- Sorra: solen estar compostes pels sòlids inorgànics més pesats que sedimenten amb velocitats relativament alta. En determinats casos també pot contenir olis i grasses.
- Espumes: estan formades pels materials que floten i són recollits en la superfície dels tancs de sedimentació. Pot incloure grasses, olis minerals i vegetals, grasses animals, sabons, residus alimentaris, pels, cotó, materials plàstics i partícules similars.
- Fangs primaris: són fangs que es generen en els tancs de decantació i són generalment grisos i greixosos.
- Fangs de precipitació química: són els fangs que procedeixen dels tancs de precipitació química i solen contenir sals metàl·liques o cal. Produeixen quantitats importants de gasos.
- Fangs activats: solen ser de color marró i tenen la tendència de convertir-se en sèptics de manera bastant ràpida.
- Fangs de filtres percoladors: són fang que tenen una descomposició més lenta.
- Fangs digerits aeròbiament: tenen color marró fosc i es deshidraten fàcilment en les etapes d'assecat.
- Fangs digerits anaeròbiament: es caracteritzen per contenir una gran quantitat de gas.
- Líquids de fosses sèptiques: són uns fangs negres que solen estar durant un llarg temps emmagatzemats.

4.6.2 Procés de tractament de fangs

Les etapes habituals del procés de tractament solen ser:

- Barrejat: com que els fangs normalment es van extraient de forma intermitent i en concentracions que van variant, el que es fa és enviar-los a un tanc de barrejat. El que s'aconsegueix amb aquest tanc es homogeneïtzar aquesta barreja i la seva concentració. Això també serveix perquè les posteriors etapes siguin aprovionades de fangs a tractar d'una forma més continua.
- Espessiment: amb aquesta operació el que s'aconsegueix és reduir el volum dels fangs. En les plantes més petites això es fa directament en el tanc on s'emmagatzemen els fangs. Els fangs són comprimits per gravetat en la base del tanc fent que es produeixi en la part superior una capa

d'aigua que es va extraient i recirculant de nou. Es poden aconseguir reduccions del volum entre un 30 i un 80% del volum inicial.



Il·lustració 19. Espesador - Font: <http://www.elaguapotable.com>

- Deshidratació: el fang encara que estigui espessit, segueix contenint bastant poca matèria seca, per tant es fa necessari deshidratar-lo encara més. Aquesta deshidratació es pot aconseguir mecànicament o tèrmicament. En el cas del secament tèrmic, es gasten majors quantitats d'energia però els resultats són molt millors.
- Estabilització: en aquesta etapa els objectius són de reduir els patògens, eliminar olors i reduir la capacitat de putrefacció de la matèria orgànica. Per aconseguir-ho es pot anar per la via biològica, aportant oxigen de forma que per l'acció microbiològica s'oxidi la matèria orgànica. Alternativament es pot estabilitzar químicament amb substàncies com la cal o el clor.

4.7 Conclusiones capítol

En aquest capítol es poden veure de forma resumida alguns dels processos i operacions més importants que es fan servir en el procés de tractament d'aigües residuals classificats en tres grans categories: operacions físiques unitàries, processos químics unitaris i processos biològics unitaris. S'ha descrit cada un d'aquest procés des d'un punt de vista que pugui ser entès d'una forma relativament senzilla el seu funcionament i en que consisteix. També s'ha parlat sobre el perquè del tractament dels fangs i les principals etapes que es duen a terme per fer-ho.

Capítol 5. Marc normatiu en l'àmbit marítim

5.1 Organització Marítima Internacional (OMI)

L'OMI és l'organisme especialitzat de les Nacions Unides responsable de la seguretat i protecció de la navegació i de prevenir la contaminació del mar pels vaixells. Per aconseguir l'assoliment d'aquests objectius, s'encarreguen d'establir normatives a través dels seus convenis com el SOLAS (Conveni Internacional per la Seguretat de la Vida Humana en el Mar) o el MARPOL 73/78 (Conveni Internacional per la prevenció de la contaminació pels vaixells).

5.2 Conveni MARPOL 73/78

L'objectiu del Conveni MARPOL 73/78 és prevenir la pol·lució marina per la descarrega de substàncies nocives en el mar. Conté sis annexos amb regulacions per les descarregues, prohibint la descarrega de les diferents substàncies definides en cada annex, excepte quan es donen unes condicions determinades. Els sis annexos són:

- Annex I – Normes per prevenir la contaminació per hidrocarburs.
- Annex II – Normes per prevenir la contaminació per substàncies nocives líquides transportades a granel.
- Annex III – Normes per prevenir la contaminació per substàncies perjudicials transportades per mar en embalum.
- Annex IV – Normes per prevenir la contaminació per aigües brutes dels vaixells.
- Annex V – Normes per prevenir la contaminació per brossa dels vaixells.
- Annex VI – Normes per prevenir la contaminació atmosfèrica pels vaixells.

5.2.1 Annex IV del MARPOL 73/78

L'annex IV del MARPOL 73/78, que conté les normes per prevenir la contaminació per aigües brutes per part dels vaixells ha anat sent modificat en els últims anys fins arribar a l'estat actual. Entre les diverses modificacions, atreu especial atenció la designació de la primera zona especial sota aquest Annex, canvi que dona motiu a la realització a aquest treball.

Fins aquesta modificació, tots els vaixells tenien prohibit la descarrega d'aigües residuals al mar excepte quan:

1. El vaixell està descarregant aigües residuals triturades y desinfectades a una distancia de més de 3 milles nàutiques de la costa més pròxima, o aigües residuals que no estiguin triturades ni desinfectades a una distancia de més de 12 milles nàutiques de la costa més pròxima, assegurant sempre que les aigües residuals que hagin estat emmagatzemades en tancs de retenció, o siguin

- originades des d'espais que continguin animals vius, no seran descarregades instantàniament sinó a una taxa moderada quan el vaixell estigui en ruta i navegui a una velocitat no inferior de 4 nusos; o
2. El vaixell tingui en operació un sistema de tractament d'aigües residuals aprovat i certificat per l'Administració de que compleix amb els requeriments imposats, i l'efluent no ha de produir sòlids visibles ni causar decoloració en les aigües circumdants.

En el cas de les zones especials, el punt 1 pels vaixells de passatge ja no es aplicable, per lo tant tenen obligatori utilitzar un sistema de tractament (o retenció) aprovat per l'Administració, com es veurà a continuació.

5.3 Comitè de protecció del medi marí MEPC

El Comitè de protecció del medi marí s'encarrega de diferents qüestions dins de l'àmbit de competències de l'OMI, sobretot les que estan relacionades amb el Conveni MARPOL. S'ocupa del control i de la prevenció de la contaminació causada pels vaixells. Apart de gestionar la normativa en relació amb les diverses substàncies que s'han vist anteriorment que cobreix el Conveni MARPOL amb els sis annexos, també s'encarrega d'altres temes com la gestió d'aigües de llast, els sistemes antiincrustants, el reciclatge dels vaixells i la identificació de zones especials i sensibles.

5.3.1 MEPC.200(62)

El juliol de l'any 2011, en la sessió numero seixanta-dos del Comitè de Protecció del Medi Marí (MEPC) es va designar el Mar Bàltic com zona especial sota l'Annex IV del MARPOL, entenent-se per això el següent:

“Zona especial significa un mar a on per raons tècniques reconegudes en relació amb la seva condició oceanogràfica i ecològica i al caràcter particular del seu tràfic, es necessària l'adopció de mètodes especials obligatoris per la prevenció de la contaminació per aigües residuals.”

Com a conseqüència d'aquesta designació, tots els vaixells de passatge tindran prohibit la descarrega d'aigües residuals en aquest tipus de zones, a no ser que disposin d'un sistema de tractament d'aigües residuals que compleixi amb els requeriments operacionals imposats per la Administració (ANNEX IV – Regulació 11.3). Com alternativa, en cas de no disposar d'una planta de tractament, es podrà instal·lar un tanc per retenir aquestes aigües, que tingui una capacitat suficient per les condicions normals d'operació del vaixell i que estigui aprovat per l'Administració.

A més a més, s'obligarà que els ports del països de les costes d'un àrea especial facilitin la recepció de les aigües residuals provinents dels vaixells, en el cas de que s'optés per instal·lar tancs de retenció en el vaixell.

5.3.2 MEPC.227(64)

L'any 2012, s'aprova una nova resolució que defineix una guia amb els estàndards que han de complir totes les plantes de tractament que s'instal·lin després del 1 de gener de l'any 2016 en qualsevol tipus de vaixell. A més a més, conté una secció especial (4.2) creada com a conseqüència de les noves restriccions

en el mar Bàltic (que passa a ser zona especial sota l'Annex IV), que inclou uns requeriments addicionals pels vaixells de passatge que naveguin per aquesta zona. Aquesta resolució rectifica l'anterior existent sobre aquest tema: MEPC.159(55).

5.3.3 MEPC.275(69)

Amb aquesta resolució, el Comitè, estableix la data definitiva perquè els requeriments establerts en l'ANNEX IV del MARPOL 73/78 (Regulació 11.3) sobre la descàrrega de les aigües residuals en zones especials, entrin en vigor en el mar Bàltic. Es decideix que aquests requeriments han de tenir efecte el:

1. 1 de juny del 2019 per vaixells de passatge nous
2. 1 de juny del 2021 per a vaixells de passatge existents que no siguin els especificats en el punt 3
3. 1 de juny del 2023 per vaixells de passatge en ruta directa cap o des d'un port que estigui situat fora de la zona especial i cap o des d'un port situat al est de la longitud 28° 10' E dins de la zona especial, que no faci cap escala en cap altre port dins de la zona especial.

5.4 Conclusions capítol

Les principals conclusions que podem extreure d'aquest capítol són que s'han anat fent canvis importants en la normativa (MARPOL 73/78) amb tal de regular la descarrega d'aigües residuals i d'aquesta manera protegir per una banda la zona del mar Bàltic, que és una zona especialment sensible, de la contaminació ocasionada per les aigües residuals prevenients dels vaixells de passatge, evitant sobretot que hi hagi aportació de nutrients.

Per l'altre banda, es pot observar que la normativa i els canvis que s'han anat produint (excepte la secció 4.2 de la MEPC.227(64)), afecten a tots els altres vaixells, encara que no naveguin per la nova zona especial. El principal objectiu en aquest cas de l'Administració és el de prevenir la contaminació per aigües residuals provinents de vaixells en qualsevol part del mon.

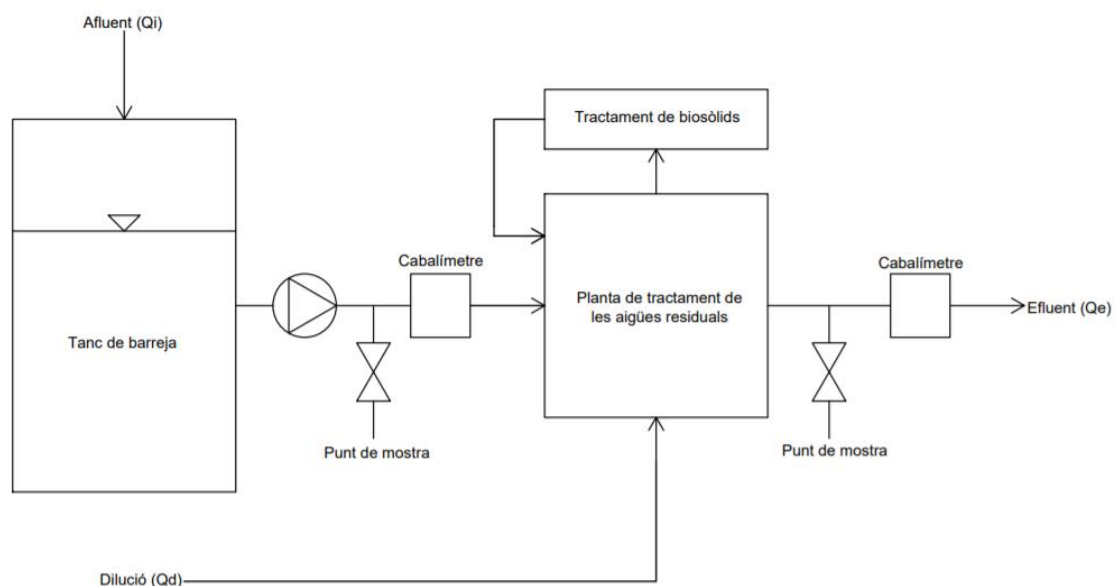
Capítol 6. Estàndards que han de complir les plantes de tractament per vaixells segons la IMO MEPC.227(64)

6.1 Introducció

Com s'ha explicat en el capítol 2, es va aprovar la resolució MEPC.227(64) per cobrir la necessitat de definir una guia amb els estàndards que han de complir les plantes de tractament d'aigües residuals que siguin instal·lades en qualsevol tipus de vaixell (a partir del gener de l'any 2016) perquè puguin ser aprovades per l'Administració, i que a més a més, conté un apartat amb requeriments addicionals només pels vaixells de passatge que naveguin per la zona especial del mar Bàltic.

A continuació es parlarà amb més profunditat sobre aquesta guia i les indicacions que dona l'Organització Marítima Internacional a través d'ella.

6.2 Plantes de tractament i el problema de la dilució



Il·lustració 20. Diagrama exemple d'una planta de tractament d'aigües residuals - Font: Pròpia (Copia adaptada de la resolució MEPC.227 (64))

Podem veure esquemàticament un circuit general d'una planta de tractament a partir del qual s'explicaran certes indicacions que es donen en la resolució MEPC 227(64).

El funcionament d'aquest sistema comença amb l'entrada de l'afluent (aigua residual a tractar) en un tanc de barreja. Després del tanc tenim una bomba que fa moure l'afluent a la següent etapa des d'aquest tanc. Al costat de la bomba tenim un punt de mostreig inicial, de l'aigua bruta, i en sèrie un cabalímetre. L'aigua arriba a la fase de tractament on s'apliquen els diferents processos per tractar-la, entre els quals també trobem el de dilució. Com es pot observar per això hi ha una línia auxiliar, per a on arriba aigua més neta que la que s'ha de tractar. Aquesta aigua de dilució pot ser aigua gris, aigua provenient d'algun procés o aigua salada del mar. Diluint s'aconsegueix reduir les concentracions dels residus i contaminants de l'aigua que s'estigui tractant.

Un cop tractada l'aigua, i si compleix amb els requisits mínims que imposa l'Administració (es van agafant mostres en el segon punt), ja es pot descarregar l'efluent obtingut al mar (o tornar-lo a fer servir com aigua pels lavabos, aigua per la neteja de la coberta o per algun altre procés). Durant la fase de tractament de l'aigua residual, es van generant fangs que també s'envien a tractar, com es va explicar anteriorment es fa sobretot degut al gran volum en líquid que ocupen inicialment. A més a més hi pot haver una línia de retorn del líquid generat durant la deshidratació dels fangs que serveix per enviar-lo a la fase de tractament.

Com s'ha vist en aquest diagrama, pot existir una línia que vagi aportant aigua de dilució, amb l'ajuda de la qual es pot aconseguir complir els criteris imposats per l'Administració. Les majoria de plantes que s'anaven instal·lant fins fa poc temps basaven tot el procés de tractament en la dilució. La dilució no es una solució contra la pol·lució, no es una forma de tractament dels residus i contaminants que conté l'aigua, el que s'aconsegueix es simplement "remodelar" el problema. Es per això que en la resolució s'especifica clarament que un sistema de tractament no ha de basar-se només en la dilució. La dilució s'ha de fer servir estrictament lo necessari per facilitar el procés en si.

Per evitar això, en aquesta resolució s'introdueix un factor de compensació de dilució. Per explicar com s'aplica aquest factor, es farà amb l'ajut d'un exemple. En el cas de la DBO_5 (demanda biològica d'oxigen) el límit (com es veurà resumit en el següent apartat) que ens imposa l'Administració en l'efluent no ha d'excedir 25 mg/L, però això es aplicable només en el cas que el tractament de l'aigua residual es faci sense fer servir la dilució. En el cas de que sí es faci servir dilució, suposem el cas de que la dilució sigui de 40 vegades, obtindríem un factor de dilució $\frac{Q_i}{Q_e} = \frac{1}{40}$. Per lo tant, el límit de la DBO_5 passaria a ser:

$$25 \frac{mg}{L} * \frac{Q_i}{Q_e} = 0,625 \frac{mg}{L}$$

6.3 Especificacions tècniques

Perquè una planta pugi ser aprovada i certificada ha de complir els següents requisits (aquests límits son indicats pel cas que no s'utilitzi la dilució, en cas contrari s'hauran d'adaptar segons el que s'ha explicat en l'apartat anterior):

- La mitjana geomètrica de coliforms termotolerants⁴ no ha de ser superior a 100 coliforms/100 ml d'efluent
- La mitjana geomètrica del número total de sòlids suspesos no ha d'excedir 35 mg/L d'efluent.
- La mitjana geomètrica de la demanda biològica d'oxigen per 5 dies no ha d'excedir 25 mg/L d'efluent.
- La mitjana geomètrica de la demanda química d'oxigen no ha d'excedir 125 mg/L d'efluent.
- El nivell pH de les mostres que es vagin agafant de l'efluent ha de ser entre 6 i 8,5.

A més a més, com s'ha comentat anteriorment, les plantes que hagin de ser instal·lades en un vaixell de passatge que navegui per una zona especial sota l'Annex IV, han de complir uns requeriments addicionals (inclosos en la secció 4.2 de la resolució) que estan relacionats amb la descarrega de nutrients:

- El nitrogen total que ha de contenir l'efluent no ha de superar els 20 mg/L o alternativament s'ha d'aconseguir una reducció comparativa entre l'afluent i l'efluent d'un 70% com a mínim.
- El fòsfor total que ha de contenir l'efluent no ha de superar 1 mg/L o alternativament s'ha d'aconseguir una reducció comparativa entre l'afluent i l'efluent d'un 80% com a mínim.

Paràmetre	Requisits MEPC.227(64)
Mitjana geomètrica de coliforms termotolerants	<100 coliforms/100 ml
Mitjana geomètrica del número TSS	<35 mg/L
Mitjana geomètrica DBO ₅	<25 mg/L
Mitjana geomètrica DQO	<125 mg/L
Nivell pH	6 – 8,5
Nitrogen total	<20 mg/L o reducció mínima del 70%
Fòsfor total	<1 mg/L o reducció mínima del 80%
Residus de desinfectants (clor)	<0,5 mg/L

Taula 2. Resum requisits MEPC.227(64) - Font: Pròpia

6.4 Altres indicacions

Apart de les especificacions que es donen que ha de complir l'efluent, també s'indica de com han de ser provades les plantes. Entre d'altres s'indica que:

⁴ Coliforms termotolerants – també coneguts com coliforms fecals, son bacteries que s'originen en els intestins humans o d'animals.

- Han de ser provades tant a terra com a bord dels vaixells.
- L'afluent amb el qual es fan les proves ha de contenir com a mínim 500 mg/L de sòlids totals en suspensió.
- L'avaluació s'ha de fer com a mínim durant un període de 10 dies i s'ha d'intentar que les condicions siguin el més semblants possibles a les condicions normals de funcionament.
- Les proves es faran a sistemes a escala real.
- La planta ha de poder funcionar amb una escora del vaixell de fins a 22,5 graus.

També es fan referències de com han de ser agafades les mostres:

- La quantitat mínima de mostres agafades ha de ser de 40.
- Les mostres han de ser agafades abans de qualsevol punt on es vagi aportant aigües de retorn del tractament de fangs, aigües de neteja o aigua tractada recirculada.
- S'ha d'evitar que residus de desinfectants puguin alterar els resultats reals.

Els desinfectants que contenguin clors són perillosos pel medi ambient, per tant es recomana fer servir alternatives com l'ozó o radiació ultraviolada. Els residus de desinfectants en l'efluent no han d'excedir els 0,5 mg/L.

També és necessari que el fabricant proporcioni informació tècnica sobre l'ús i manteniment del sistema. S'indica que és imprescindible que el personal que estigui a bord del vaixell ha de familiaritzar-se amb la planta de tractament i ha de saber utilitzar-la correctament.

6.5 Conclusions capítol

En aquest capítol s'ha pogut veure de forma resumida les indicacions que ens dona l'Organització Marítima Internacional sobre les plantes de tractament d'aigües residuals perquè puguin ser aprovades i certificades per instal·lar-les a bord dels vaixells.

Un dels canvis més importants amb aquesta nova resolució ha sigut la introducció del coeficient de dilució per tal d'evitar que les plantes de tractament basin el seu procés en la dilució.

També cal destacar els requeriments que han de complir els efluents generats després del tractament de les aigües residuals, ja que són fonamentals perquè una planta pugui ser certificada.

Per últim, remarcar el que s'indica en la resolució sobre la fase de desinfecció, de que seria més raonable fer servir alternatives més respectuoses amb el medi ambient enlloc de productes clòrics, com per exemple l'ozó o la llum ultraviolada.

Capítol 7. Tecnologies utilitzades en vaixells per tractar l'aigua residual

7.1 Introducció

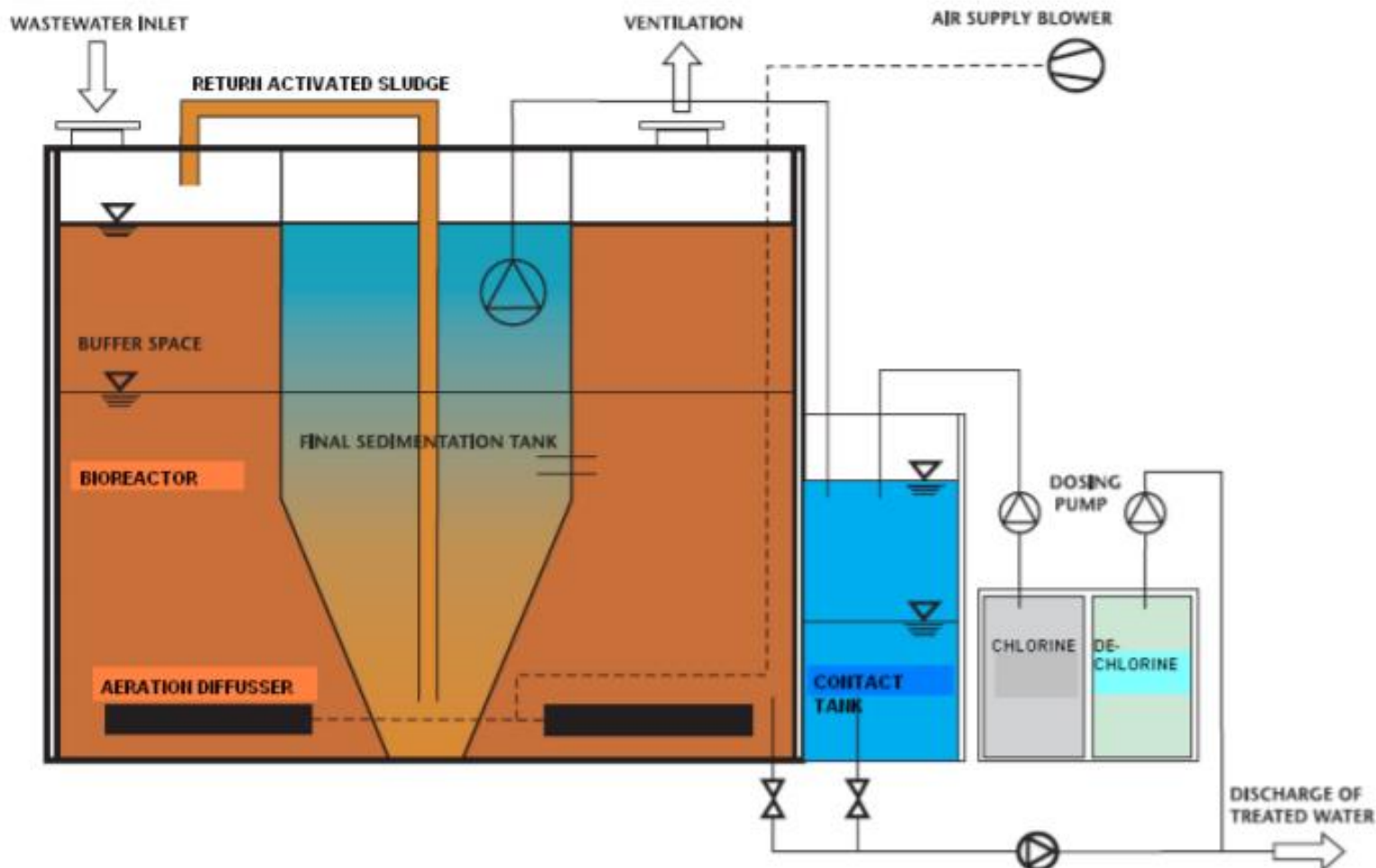
En el capítol 4 s'han explicat les operacions que s'utilitzen habitualment per tractar les aigües residuals. En els vaixells, el cas és més particular, sobretot degut a l'espai disponible per instal·lar un sistema de tractament. Les dimensions han de ser molt més reduïdes, i en conseqüència les operacions i processos en el sistema, també han de ser d'un altre tipus o adaptats d'una forma diferent. A més a més s'ha de tenir en compte les condicions en les quals treballarà una planta instal·lada en un vaixell, que seran molt diferents a les quals està sotmesa una que estigui a terra. Degut a aquestes diferències, en aquest capítol es descriuran les tecnologies que es fan servir normalment pel tractament d'aigües residuals en vaixells.

Segons el tipus de tecnologia amb la qual siguin dissenyats aquests sistemes, els podem dividir en tres grups:

- Sistemes de tractament biològic convencional
- Sistemes de tractament fisicoquímic
- Sistemes de tractament avançat

7.2 Sistemes de tractament biològic convencional

Els sistemes de tractament biològic convencional fan servir bacteris per facilitar el procés de degradació dels sòlids que contengui l'aigua residual. Aquest procés es du a terme en unes plantes en les quals es genera una atmosfera rica en oxigen per crear un medi favorable pels bacteris. Per generar aquest tipus d'atmosfera, el procés es basa en l'aeració. Els bacteris, degut a les condicions que se'ls hi crea, es multipliquen a grans velocitats i desintegren els residus presents en l'aigua convertint-los en fangs. A més a més, el sistema sol estar complementat amb algun procés addicional per desinfectar. Les plantes solen estar dividides en tres compartiments: el d'aeració, el de sedimentació i el de tractament.



Il·lustració 21. Esquema de funcionament d'un sistema de tractament biològic convencional i desinfecció amb clor - Font: HATENBOERWATER

En aquesta il·lustració es pot veure un sistema típic. L'aigua residual entra primer pel compartiment d'aeració a on els bacteris aerobis digereixen els residus i els redueixen a partícules molt petites. Durant aquesta fase es va aportant contínuament oxigen atmosfèric per incrementar el rendiment del procés. Aquest procés de degradació és inofensiu pel medi ambient ja que és idèntic al procés que passa en el medi de forma natural. La clau en aquest tractament es controlar sempre les condicions en les quals es troben els organismes, hi ha d'haver suficient oxigen dissolt perquè puguin ser tractats tots els contaminants orgànics.

En la següent fase, els sòlids desintegrats són transferits en el compartiment de sedimentació. En aquest compartiment els sòlids sedimenten per l'efecte de la gravetat. El líquid que queda en la part d'a dalt es passa al següent compartiment, el de tractament, mentre que una part de la biomassa concentrada en la part baixa es retorna al compartiment inicial d'aeració, ja que son fangs activats. En aquesta fase és molt important controlar el flux de fangs activats retornats, ja que si el flux de retorn es massa gran o massa petit, es pot produir una sedimentació defectuosa.

En el compartiment de tractament, l'aigua és tractada amb clor o llum ultraviolada per desinfectar-la. En el cas de que la desinfecció es faci amb clor, també hi ha d'haver un procés de decloració, ja que si no es fes, quedarien residus de clor que són tòxics pel medi ambient.

Finalment l'aigua tractada es pot descarregar, mentre que els fangs sobrants generats en el compartiment de sedimentació es van guardant en un altre tanc. S'ha de tenir en compte que si els fangs no són deshidratats, ocupen molt espai, per tant s'ha de valorar d'instal·lar alguna tecnologia addicional per assecar-los en funció de quant temps estarà navegant el vaixell fins que pugui passar per un port i l'espai disponible.



Il·lustració 22. Exemple d'una planta de tractament biològic convencional - Font: HATENBOERWATER

7.3 Sistemes de tractament fisicoquímic

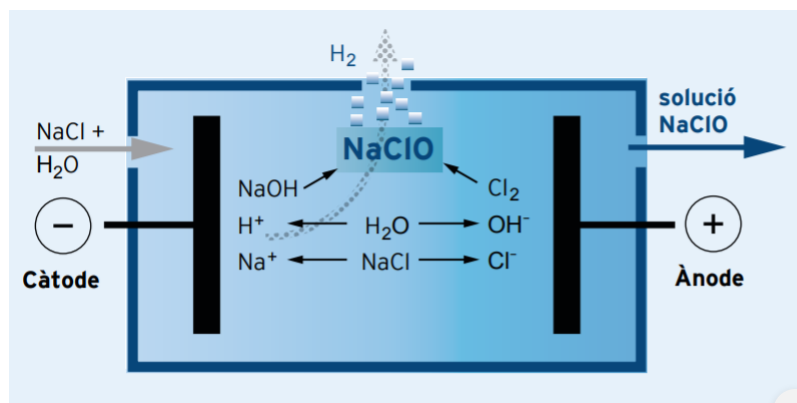
Aquest tipus de tecnologia també es pot dividir en tres categories:

- Electro-cloració
- Coagulació/Floculació
- Electro-coagulació/floculació

Un dels avantatges principals d'aquesta categoria de sistemes, és que solen ser molt més petites que les de tractament biològic.

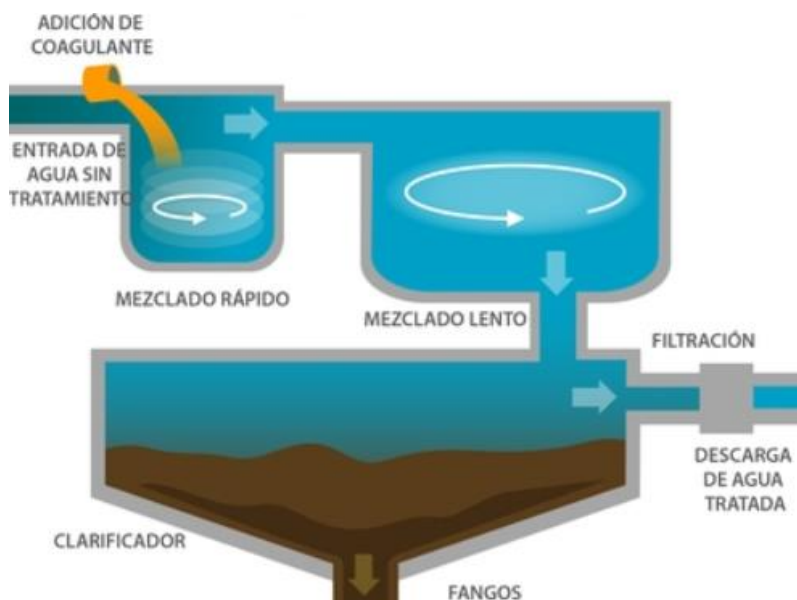
Els sistemes de **electro-cloració**, utilitzen clor per desinfectar l'aigua residual. Aquest clor es pot generar d'una solució salada o de l'aigua del mar a través d'un sistema d'electròlisi⁵. Per tant aquesta tecnologia requereix una alta i estable salinitat per treballar de forma efectiva. Instal·lar un sistema d'aquest tipus en un vaixell equipat amb vàters que funcionin per gravetat i utilitzin aigua del mar és la millor opció. En el cas de que es facin servir vàters de buit que utilitzin aigua dolça, s'haurà d'anar aportant aigua del mar en el sistema de tractament perquè pugui funcionar correctament. Abans de descarregar l'efluent, també es necessari que hi hagi un procés de decloració.

⁵ Electròlisi - descomposició química d'una substància, fosa o en solució, per l'acció del corrent elèctric.



Il·lustració 23. Esquema funcional de la generació d'hipoclorit sòdic a partir de sal comú utilitzant electricitat - Font: SELCOPERM

El segon subgrup són els sistemes de **coagulació/floculació**. Aquesta tecnologia consisteix en utilitzar substàncies químiques per desestabilitzar els sòlids en suspensió presents en l'aigua. Aquests sòlids (col·loides), es troben inicialment estabilitzats per una sèrie de carregues d'igual signe sobre la seva superfície, que fan que dues partícules veïnes es repel·leixin com dos pols magnètics. Això impedeix que les partícules puguin formar masses més grans (flocs) i per tant no poden sedimentar. Per tant, utilitzant agents químics i energia de barreja s'aconsegueix la coagulació i floculació dels sòlids per poder eliminar-los. A més a més, apart d'eliminar els sediments, abans de descarregar l'efluent, aquest se sol fer passar prèviament per una fase de filtració.



Il·lustració 24. Esquema del procés de coagulació/floculació - Font: Museu de Ciències Marian Koshland

Els sistemes **d'electro-coagulació/floculació** són una barreja dels altres dos tipus. Consisteix en desestabilitzar els sòlids en suspensió però enlloc de fer-ho amb l'ajut de substàncies químiques es fa amb l'ajut d'uns elèctrodes. Quan s'aplica corrent elèctric, es van oxidant els elèctrodes i es van generant ions que es van movent entre l'ànode i el càtode. Aquests ions el que fan és desestabilitzar les partícules en suspensió dels residus, que en conseqüència es van agregant i formant flocs. Un altre fenomen positiu que es produeix durant aquest procés és el d'oxidació de metalls i contaminants a espècies no tòxiques,

mentre que gran part de la matèria orgànica es va degradant. També es genera turbulència i el floculs generats tendeixen a sortir a la superfície, per lo tant es més fàcil separar-los de l'aigua.

7.4 Sistemes de tractament avançat

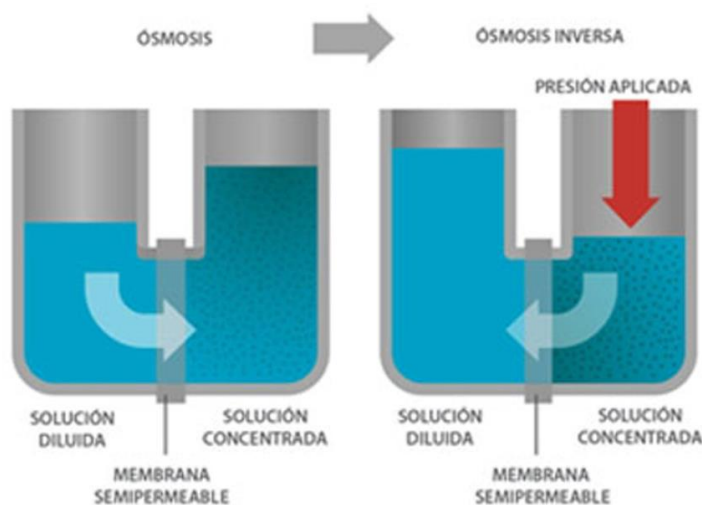
Són sistemes que fan servir tecnologies més avançades que solen combinar la digestió aeròbia millorada amb la filtració. Aquest tipus de sistemes es poden classificar en 4 principals subgrups, segons la tecnologia que facin servir:

- Procés d'oxidació activada
- Filtració osmòtica inversa
- Bioreactor/filtració
- Bioreactor de llit en moviment (o fixe)

Un sistema amb procés d'**oxidació activada** sol tenir quatre components principals: un sistema de filtració primària, un sistema de separació de sòlids i oxidació, un tanc d'oxidació secundària i l'equipament que genera l'oxidació. Com a oxidant se sol fer servir l'ozó que té l'avantatge sobre el clor de ser millor pel medi ambient, descomponent-se en poc temps en oxigen. A més a més es més efectiu matant bacteris i virus.

Una versió millorada dels sistemes amb procés d'oxidació activada consisteix en afegir en la fase preliminar un polímer que provoca l'agrupació dels sòlids present en l'aigua formant una capa de fang. Aquesta capa s'elimina abans de que l'afluent entri en el sistema de tractament.

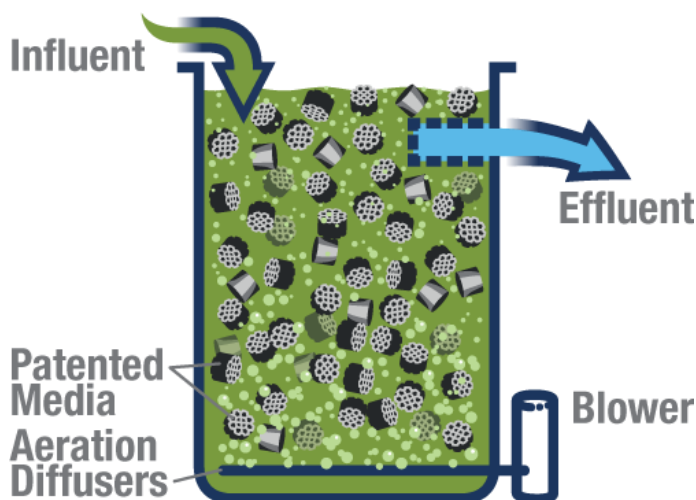
El sistema de **filtració osmòtica inversa** es basa en la teoria de que l'aigua neta es mourà a través d'una membrana semipermeable cap a l'aigua residual fins que les concentracions de contaminants en ambdós líquids s'iguali. No obstant, si s'aplica una pressió externa sobre l'aigua bruta, aquesta fluirà en sentit contrari, cap a l'aigua neta. Aquest fenomen és conegut com el de osmosis inversa. Aquest tipus de sistemes, quan s'instal·len en vaixells, tenen també una fase de desinfecció per llum ultraviolada després de que l'aigua hagi passat pel procés d'osmosis inversa.



Il·lustració 25. Representació de la osmosis i la osmosis inversa - Font: Osmoinfo

En el cas de la tecnologia **bioreactor/filtració**, es fa servir un procés de digestió aeròbica millorada i una membrana de filtració de baixa pressió. L'aigua primer s'introdueix en el bioreactor que conté biofilm en suspensió per incrementar la seva superfície i d'aquesta manera també la seva efectivitat, reduint el temps que l'aigua hi ha d'estar en aquesta fase. Després passa per la membrana de filtració que es caracteritza per tenir una gran superfície i pors de mida molt petita ($0,035 \cdot 10^{-6}$ metres). Finalment es desinfecta fent-la passar a través d'una unitat de llum ultraviolada.

Un altre tipus de tecnologia són **els bioreactors de llit en moviment (o fixe)**. Aquesta tecnologia es podria considerar com un tractament biològic millorat. Aquesta millora s'aconsegueix a través de l'augment del rendiment del sistema a través de l'augment de la superfície disponible pels cultius de microorganismes. Per augmentar la superfície, dins del bioreactor hi ha uns suports en suspensió, normalment fets d'algun material plàstic, sobre els quals es van adherint i creixent els microorganismes. Apart del procés biològic hi poden haver altres fases de tractament, com podrien ser de filtració o de desinfecció per llum ultraviolada. (En alguns casos enlloc d'utilitzar suports en moviment, els fabricants aposten per un únic suport fixe però de dimensions molt més grans, aquest seria el cas dels bioreactors de llit fixe).



Il·lustració 26. Representació d'un bioreactor de llit en moviment - Font: BioPortz

7.5 Conclusions capítol

En aquest capítol s'ha explicat breument perquè els sistemes de tractament d'aigua residual en els vaixells difereixen dels que estiguin a terra i també s'han descrit les tecnologies i tipus de sistemes que existeixen.

Capítol 8. Sistemes de tractament d'aigües residuals per vaixells disponibles en el mercat

8.1 Introducció

En aquest capítol s'enumeraran i es descriuran els sistemes de tractament d'aigües residuals per vaixells. Es veuran quines opcions hi han disponibles en el mercat, quin tipus de tecnologia utilitzen per fer el tractament, la quantitat d'aigua que poden tractar al dia, les dimensions i els pesos. Com a requeriment indispensable per incloure en aquest informe un determinat sistema de tractament serà que compleixi i estigui certificat segons els requeriments de la IMO MEPC.227(64).

8.2 Wärtsilä

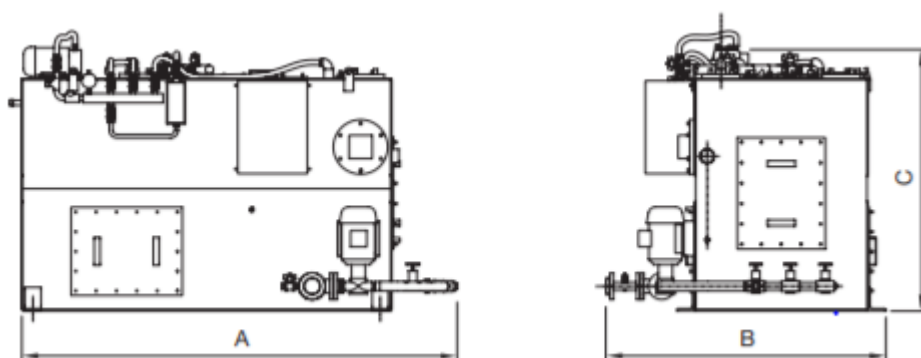
Wärtsilä és una empresa finlandesa que ofereix productes i serveis en diversos àmbits, entre els quals es poden destacar el sector marítim i el sector energètic. Com a solució al tractament d'aigües residuals en vaixells ofereixen tres tipus de plantes de tractament que es veuran a continuació.

8.2.1 Super Trident - Small STC-13 Series

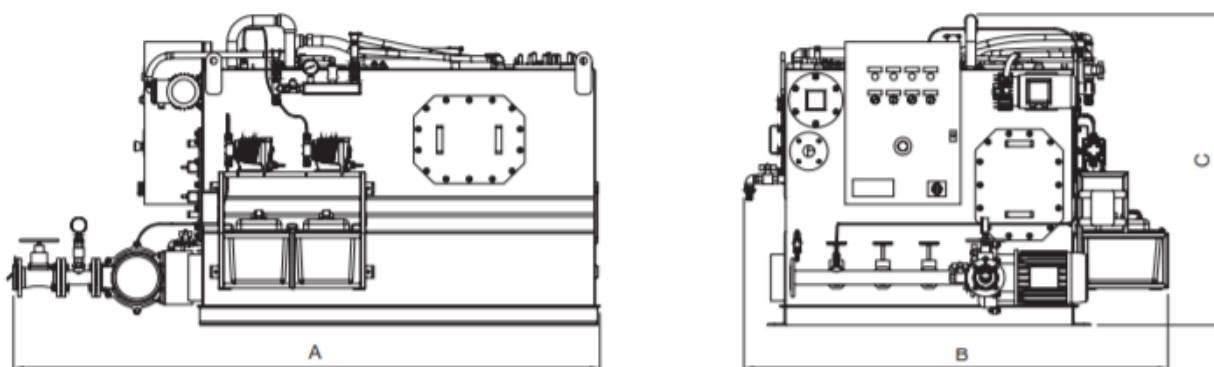
Les Small STC-13 Series són les opcions més adequades en cas de que les quantitats d'aigua a tractar siguin relativament petites, tenint l'avantatge de ser sistemes bastant compactes. Són plantes totalment compatibles tant amb sistemes de recollida que funcionin amb buit, com amb els que funcionin per gravetat. Les Super Trident - Small STC-13 Series són sistemes certificats per la IMO segons els requeriments de la MEPC.227(64) excepte la secció 4.2. A continuació es mostrarà un quadre resum amb els diferents models d'aquesta sèrie, les seves característiques i il·lustracions dels sistemes per interpretar les dimensions:

Dimensions (mm)					
Model Nr.	Capacitat de tractament (Litres/dia)	A	B	C	Pes (kg)
STC01-13	1.740	1.890	1.400	1.181	1.550
STC02-13	3.120	2.518	1.863	1.336	3.030
STC03-13	4.660	2.622	1.863	1.681	3.959
STC04-13	6.010	2.722	2.080	1.821	5.027
STC06-13	9.360	3.072	2.280	1.971	7.367

Taula 3. Característiques Super Trident - Small STC-13 Series - Font: Wärtsilä

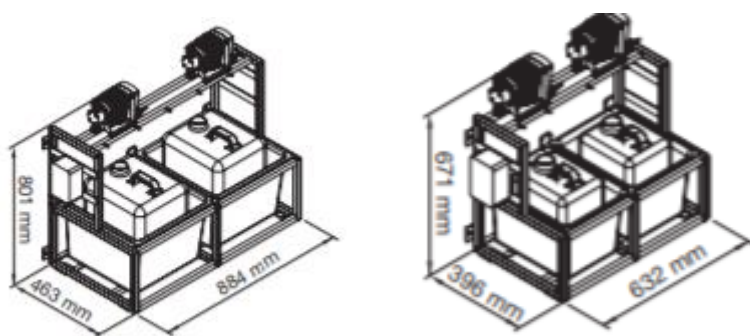


Il·lustració 27. Esquema Super Trident STC01-13 - Small STC-13 Series - Font: Wärtsilä



Il·lustració 28. Esquema Super Trident des de STC02-13 fins STC06-13 - Small STC-13 Series - Font: Wärtsilä

Apart del cos principal del sistema, s'ha de tenir en compte que també s'ha d'instal·lar una unitat de dosificació química, que té les següents dimensions:



Il·lustració 29. Dimensions unitat de dosificació química (Esquerre pels models STC01, STC04 i STC06)/(Dreta pels models STC02 i STC03) - Font: Wärtsilä



Il·lustració 30. Super Trident - Small STC-13 Series - Font: Wärtsilä

Procés de tractament

Les unitats de tractament Super Trident estan formades bàsicament per un tanc principal que està dividit en tres compartiments estancs: un compartiment d'aeració, un compartiment de sedimentació i un altre de cloració.

L'aigua residual entra primer en el compartiment d'aeració, aquí es produeix la digestió aeròbica pels bacteris i microorganismes que acaben entrant amb l'adició del oxigen atmosfèric amb l'ajut d'un compressor rotatori. Aquests bacteris aeròbics, que necessiten oxigen per existir, redueixen els residus de l'aigua que estan constituïts per carboni, oxigen, hidrogen, nitrogen i fòsfor. Com resultat d'aquesta digestió s'obtenen diòxid de carboni, aigua i creixen noves cèl·lules de bacteris. El diòxid de carboni es deixa sortir a través del sistema de ventilació mentre que l'aigua junt amb les cèl·lules dels bacteris és desplaçada en el següent compartiment.

En el següent compartiment, el de sedimentació, el que s'aconsegueix és que la biomassa sedimenti i pugui ser retornada a la primera fase. Els fangs són tornats per la part inferior del compartiment, que té els costats inclinats per impedir que es causi una acumulació. L'efluent surt per la part de dalt i passa a través d'un clarificador per arribar finalment a l'últim compartiment.

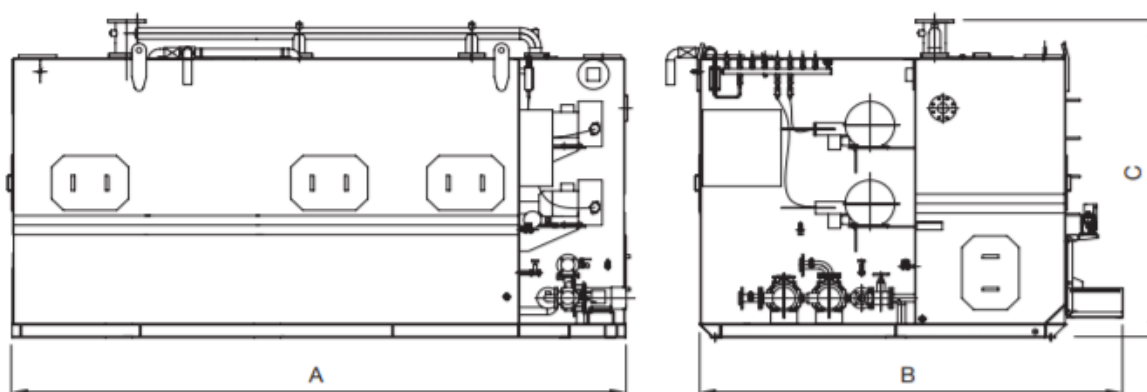
L'últim compartiment és on l'aigua es manté durant un temps un cop ja se li han afegit productes químics, en aquest cas clor, que serveix per desinfectar-la matant els bacteris que puguin ser perillosos. Per afegir el clor en l'aigua, abans d'entrar en aquest últim compartiment, se la fa passar per sobre d'unes tablettes especialment formulades i absorbeix la quantitat necessària. Finalment es fa la decloració i amb l'ajut d'unes bombes centrífugues que té el sistema, l'aigua és descarregat.

8.2.2 Super Trident - Large STC-14 Series

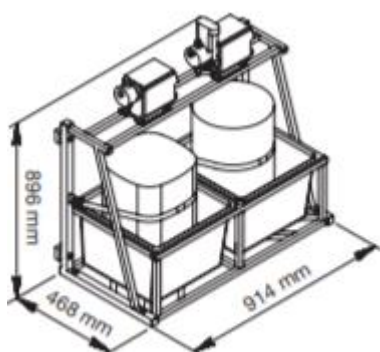
Aquesta sèrie és igual que l'anterior (Small STC-13 Series) en quant a les parts i el procés de tractament. La diferencia està en que, com el seu nom indica, aquests models són per casos en els quals es necessiten tractar quantitats d'aigua molt més grans. La Large STC-14 Series també compleix amb la MEPC.227(64) excepte la secció 4.2. A l'igual que amb l'altre sèrie es mostren les seves característiques i il·lustracions a continuació:

Dimensions (mm)					
Model Nr.	Capacitat de tractament (Litres/dia)	A	B	C	Pes (kg)
STC08-14	11.840	3.000	2.670	2.000	9.294
STC10-14	15.810	3.400	2.750	2.000	11.314
STC13-14	20.830	4.400	2.750	2.000	15.036
STC15-14	25.704	3.700	3.215	2.300	17.836
STC20-14	33.974	4.620	3.215	2.300	22.422
STC25-14	40.778	4.620	3.490	2.500	27.446
STC30-14	47.422	5.012	3.470	2.700	30.898
STC40-14	64.150	6.012	3.915	2.680	43.614
STC50-14	80.182	7.000	4.145	2.900	55.526
STC60-14	100.800	7.000	4.180	3.500	69.754

Taula 4. Característiques Super Trident - Large STC-14 Series - Font: Wärtsilä



Il·lustració 31. Esquema Super Trident - Large STC-14 Series - Font: Wärtsilä



Il·lustració 32. Dimensions unitat de dosificació química (Large STC-14 Series) - Font: Wärtsilä

8.2.3 Super Trident - Retrofit RT Series

Les Retrofit RT Series, segueixen sent els mateixos sistemes que els anteriors descrits, amb la gran diferència que aquesta sèrie ha estat dissenyada per facilitar la instal·lació de les plantes en vaixells ja existents. Per poder fer això, estan formades per tres tancs que poden ser transportats de forma independent i es connecten entre ells ja quan s'instal·len. Les dimensions de cada un d'aquests components ha estat dissenyat amb la intenció de poder fer-los passar de forma fàcil a través dels accessos habituals en el vaixell. Amb les il·lustracions següents es poden apreciar els tres tancs separats i junts. Aquesta sèrie també compleix amb la MEPC.227(64) excepte la secció 4.2.



Il·lustració 33. Super Trident - Retrofit RT Series amb els components separats - Font: Wärtsilä



Il·lustració 34. Super Trident - Retrofit RT Series amb els components junts i connectats - Font: Wärtsilä

A continuació es proporcionen dues taules, una amb les dimensions del sistema i l'altre amb les obertures necessàries en el vaixell per poder fer passar els components del sistema:

Dimensions (mm)								
Model Nr.	Capacitat de tractament (Litres/dia)	A	B	C	D	E	F	G
RTC20-14	3.120	2.318	1.678	1.398	2.320	1.174	1.265	1.290
RTC40-14	6.010	2.518	1.835	1.847	2.520	1.624	1.415	1.415
RTC60-14	9.360	3.024	2.035	1.937	3.010	1.724	1.615	1.765

RTC80-14	11.840	3.324	2.135	2.037	3.460	1.824	1.715	2.015
-----------------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

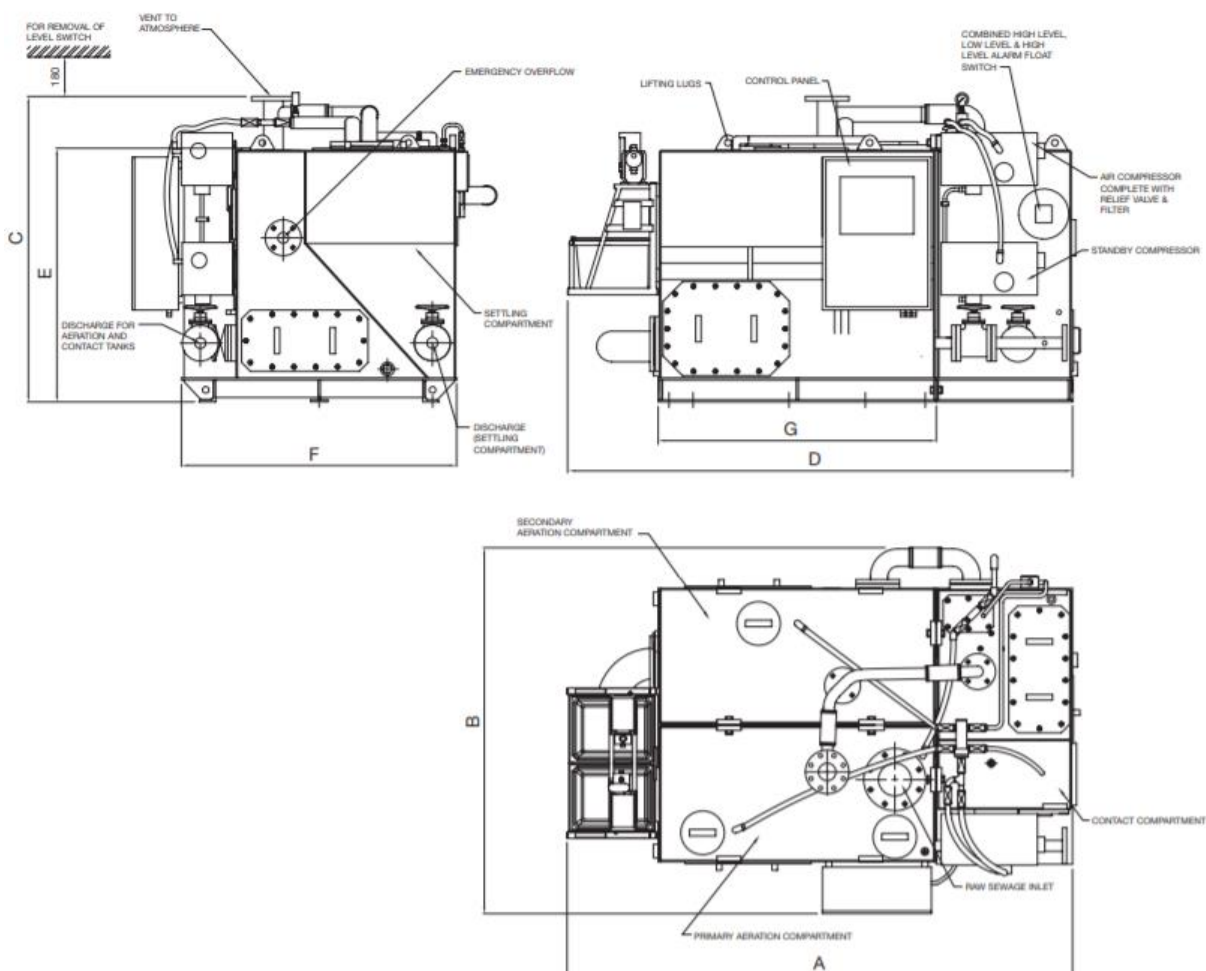
Taula 5. Característiques Super Trident - Retrofit RT Series - Font: Wärtsilä

Model Nr.	Pes humit (kg)	Mida de l'obertura* (mm)	Mida de l'obertura** (mm)
RTC20-14	3.335	867 x 1.371	655 x 1220
RTC40-14	5.340	942 x 1.821	730 x 1670
RTC60-14	7.690	1.042 x 1.921	830 x 1770
RTC80-14	9.440	1.092 x 2.021	880 x 1870

Taula 6. Pes total i mida de l'obertura per poder instal·lar Super Trident - Retrofit RT Series - Font: Wärtsilä

Mida de l'obertura* - per fer passar els tancs separats amb els tubs de ventilació i els tubs de transferència connectats, el dosificador separat.

Mida de l'obertura** - per fer passar els tancs separats quan el panel de control, els tubs de transferència, els pern, els tubs de ventilació, el cabalímetre i tapes estan separats.

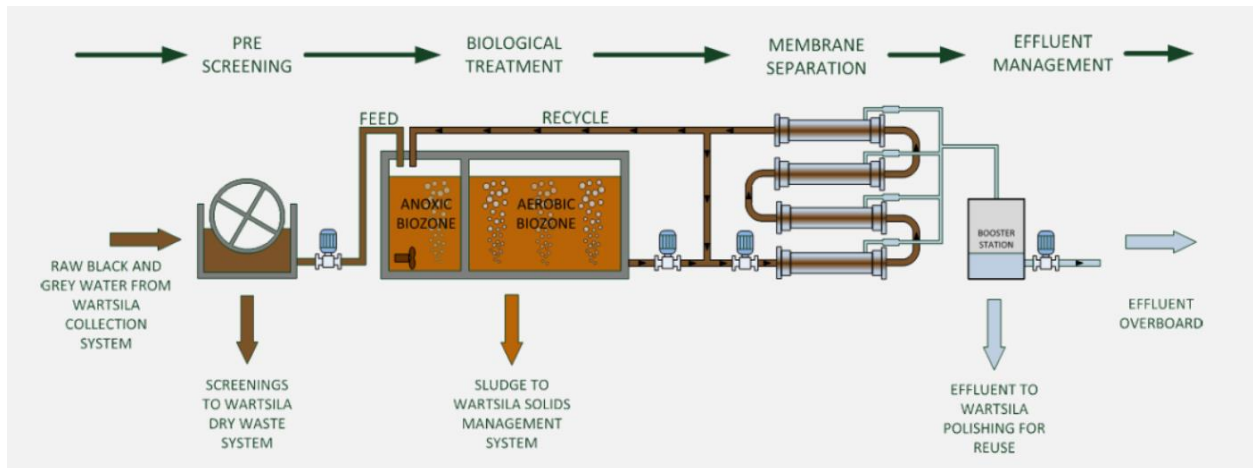


Il·lustració 35. Esquema Super Trident - Retrofit RT Series - Font: Wärtsilä

8.2.4 Membrane BioReactor

Un altre alternativa per part de Wärtsilä són els models Membrane BioReactor. És un tipus de sistema més innovador i més modern en comparació amb les altres sèries disponibles. També estan certificats per la IMO amb els requeriments de la MEPC.227(64), la secció 4.2 inclosa.

Procés de tractament:



Il·lustració 36. Diagrama del procés de tractament del sistema Membrane BioReactor - Font: Wärtsilä

El sistema fa servir un tractament biològic aeròbic seguit d'ultrafiltració. Un cop l'aigua residual arriba, passa primer a través d'un filtre per eliminar els sòlids de mida més gran. Després, passa al bioreactor de dues fases, a on els bacteris digereixen la matèria orgànica. Seguit del tractament biològic, l'aigua torna a ser filtrada, en aquest cas per una membrana tubular. Amb aquesta membrana s'aconsegueixen eliminar matèria en partícules i massa biològica de mida molt petita. La biomassa concentrada que s'extreu de l'aigua és retornada a la fase anterior. Finalment, l'efluent es pot descarregar.

El mòdul de la membrana, que és una de les parts més innovadores segons el fabricant, està formada per 336 tubs als quals el fluid els hi arriba perpendicularment. També s'afirma que gràcies a aquesta membrana s'aconsegueixen uns nivells de tractament tan alts, que es fa innecessari que hi hagin més etapes de tractament posterior com podria ser la desinfecció amb productes químics o llum ultraviolada



Il·lustració 37. Mòdul de la membrana del sistema Membrane BioReactor - Font: Wärtsilä

Encara que Wärtsilä no especifica un rang concret de les capacitats de tractament diari d'aquest tipus de sistemes, basant-se en els exemples de vaixells en els quals el seu sistema està instal·lat, es pot veure que

existeixen molts models i la capacitat màxima de tractament d'una sola planta pot arribar fins a uns 1.000 metres cúbics diaris.

8.3 Rochem

Rochem és una empresa amb més de 30 anys d'experiència en el mercat i està especialitzada en diferents tipus de sistemes pel tractament d'aigua. També ofereixen productes químics per neteja de tubs i màquines com turbines de gas.

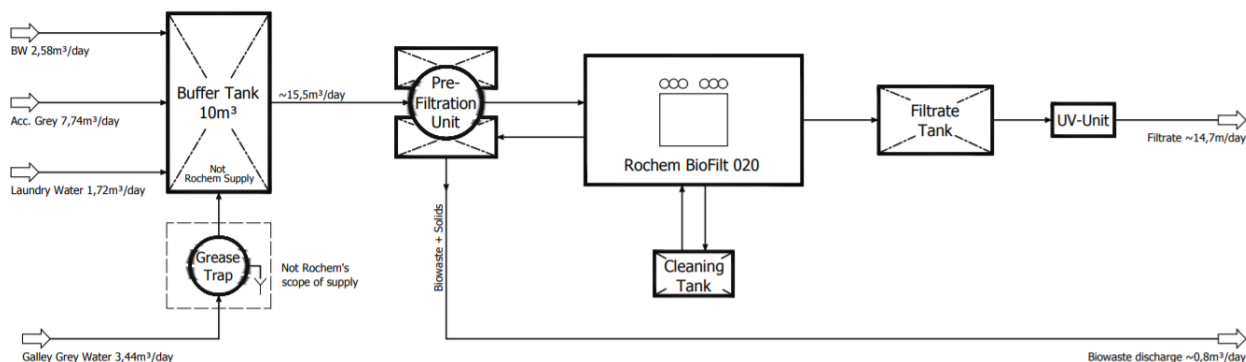
Les plantes de tractament que ofereixen són aprovades i certificades per la IMO.

8.3.1 Rochem MBR (Membrane Biological Reactor)

Aquest tipus de plantes estan formades principalment per una combinació d'un bioreactor i una membrana d'ultrafiltració.

Abans d'entrar en la planta, l'afluent passa per un procés de filtració inicial que serveix per eliminar els residus de mida més gran. Un cop passat aquest procés, l'aigua passa al bioreactor. Aquest bioreactor funciona amb fangs activats. Els cultius de bacteris presents sintetitzen la matèria orgànica. Els residus i excessos de fangs generats són col·lectats en un tanc apart. En el bioreactor també hi ha instal·lats en la part baixa uns difusors d'aire que aporten oxigen perquè el procés de degradació aeròbica pugui dur-se a terme per part dels organismes. Els gasos generats d'aquest procés són descarregats a l'atmosfera.

Després del bioreactor l'aigua passa pel procés d'ultrafiltració. La filtració es genera fent passar el flux pressuritzat a través d'unes 10 membranes. D'aquesta manera s'eliminen els sòlids i part dels bacteris. Finalment l'aigua abans de ser descarregada passa per una unitat de llum ultraviolada. A continuació es pot veure un esquema representatiu del procés:



Il·lustració 38. Esquema del procés de tractament del sistema Rochem MBR - Font: Rochem



Il·lustració 39. Rochem MBR - Font: Rochem

Els rangs de la capacitat de tractament diària no són especificats per part del fabricant. Basant-se en que el fabricant indica que aquestes plantes poden instal·lar-se en tot tipus de vaixells, des de bucs d'esbarjo fins creuers, s'ha arribat a la conclusió que poden oferir una gran varietat de models amb diverses capacitats.

Rochem té publicats els resultats obtinguts dels seus sistemes de tractament en les proves per complir amb els requisits de la resolució MEPC.227(64):

Paràmetre	Requisits MEPC.227(64)	Rochem MBR
Mitjana geomètrica de coliforms termotolerants	<100 coliforms/100 ml	1 coliform/100 ml
Mitjana geomètrica del número TSS	<35 mg/L	3 mg/L
Mitjana geomètrica DBO ₅	<25 mg/L	3 mg/L
Mitjana geomètrica DQO	<125 mg/L	20 mg/L
Nivell pH	6 – 8,5	6 – 8,5
Nitrogen total	<20 mg/L o reducció mínima del 70%	12 mg/L o reducció del 80%
Fòsfor total	<1 mg/L o reducció mínima del 80%	<0,03 mg/L o reducció del 99%
Residus de desinfectants (clor)	<0,5 mg/L	0 mg/L

Taula 7. Comparativa entre els requisits MEPC.227(64) i els resultats obtinguts pels sistemes de tractament Rochem MBR - Font: Rochem

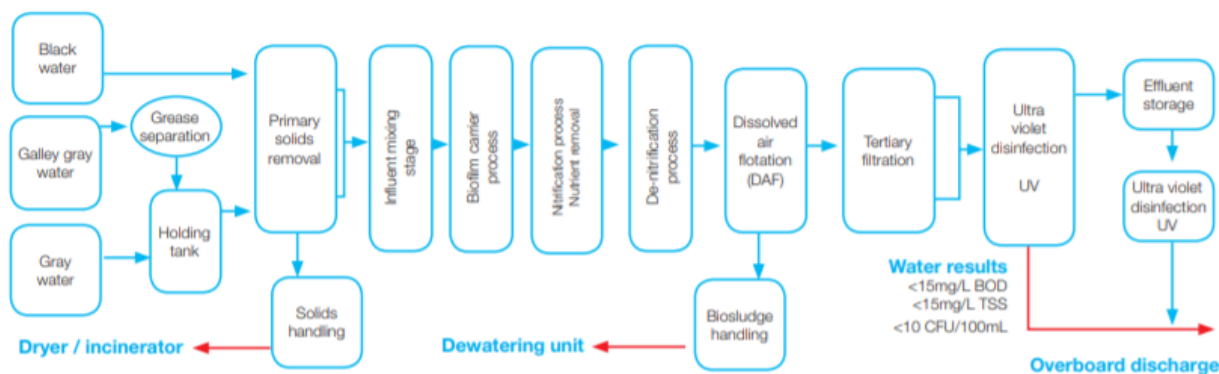
8.4 Evac

Evac és una empresa internacional amb seu principal en Espoo, Finlàndia, i va ser fundada l'any 1979. Està especialitzada en sistemes integrals de tractament d'aigües i sistemes de protecció contra la corrosió. Els productes que ofereixen estan destinats pels àmbits marítims, offshore i indústria de la construcció.

8.4.1 Evac EcoOcean

Evac EcoOcean són sistemes de tractament del tipus bioreactor de llit de biofilm en moviment. Aquest tipus de sistemes són més adequats per creuers grans amb moltes persones. El fabricant indica que aquestes plantes compleixen amb els requeriments de la IMO (MEPC.227(64)) i remarca addicionalment, que el sistema també compleix amb els requeriments necessaris perquè pugui ser instal·lat en un vaixell de passatge que navegui per la zona especial del Mar Bàltic. En quant als avantatges que s'indiquen, són quasi idèntics als que especifica el fabricant Wärtsilä amb els seus productes: disseny compacte, sistema autònom, etc.

Procés de tractament



Il·lustració 40. Esquema del procés de tractament del sistema Evac EcoOcean - Font: Evac

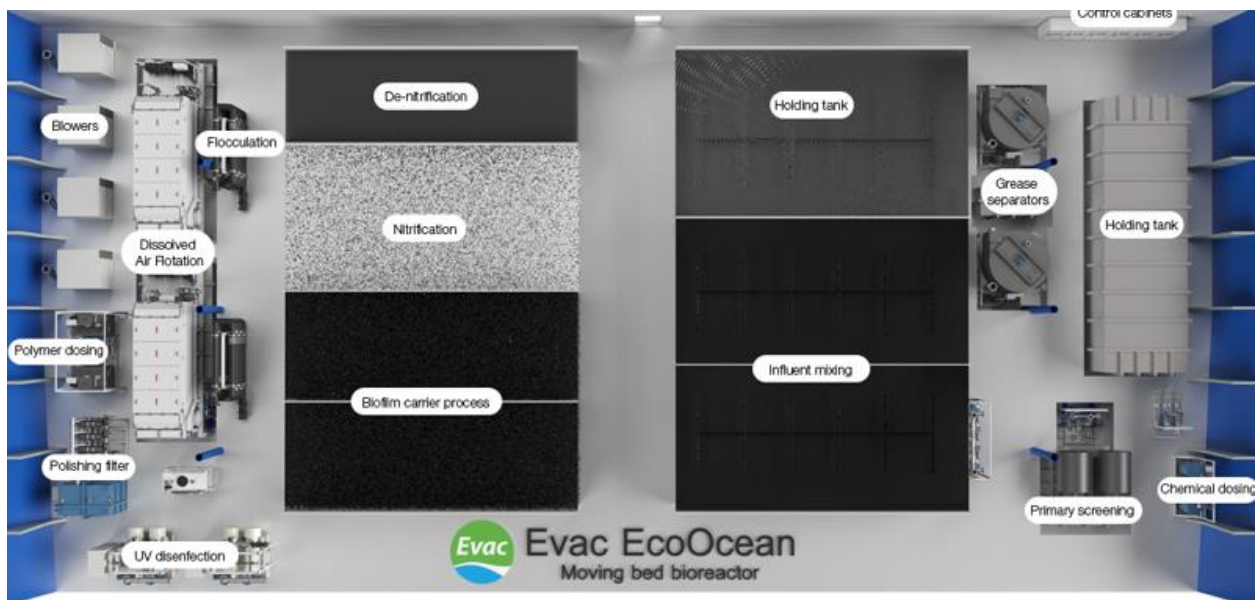
Les aigües que procedeixen de la cuina passen primer per una fase de separació de la grassa i després són transferides en un tanc de retenció. En aquest tanc també arriben les altres aigües grises que no siguin provinents de la cuina. Després, aquestes aigües grises són transferides a la primera fase, que consisteix en una filtració primària amb l'ajut d'un tambor rotatori. En el cas de les aigües negres, aquestes no passen per cap tanc de retenció sinó van directament a aquesta fase de filtració. Els sòlids que s'extreuen amb aquesta filtració primària seran després assecats i incinerats.

L'afluent passa a la següent fase que consisteix en un tanc de barreja per homogeneïtzar el flux. Posteriorment l'afluent passa en un altre compartiment que és el bioreactor. El bioreactor està basat en el procés natural dels microorganismes de la creació del biofilm⁶. En aquest cas existeixen uns suports de polietilè que ofereixen unes grans superfícies protegides pel desenvolupament dels bacteris. Gràcies a aquestes grans superfícies, s'obté un rendiment molt millor en la digestió de la matèria orgànica. Un altre part del procés és el d'eliminació de nutrients. Per eliminar el nitrogen hi ha dues etapes: nitrificació-desnitrificació. Aquestes etapes serveixen per eliminar el nitrogen, primer convertint-lo en nitrat i després en un producte gasos que s'elimina.

⁶ Biofilm – comunitats de microorganismes envoltades en una matriu polimèrica creada pels mateixos organismes i adherida en una superfície viva o inert. El biofilm permet als microorganismes estar protegits, comunicar-se millor entre ells i atrapar de forma més fàcil nutrients.

En la següent fase es fa passar l'aigua per un procés de flotació. Aquest procés s'aplica per separar partícules suspeses en l'aigua introduint petites bombolles de gas, que poden ser d'aire, que adherint les partícules a eliminar pugen a la superfície. Un cop estan a la superfície, les partícules poden ser fàcilment eliminades. Després, l'aigua torna a ser filtrada, aquest cop ja és una ultrafiltració, eliminant partícules molt més petites i part dels bacteris. Finalment, per acabar de desinfectar l'aigua del tot, se la fa passar per una unitat de llum ultraviolada. L'efluent pot ser emmagatzemat per un us posterior o descarregat directament al mar. En el cas de que hagi sigut emmagatzemat, abans d'utilitzar-lo, es torna a desinfectar amb llum ultraviolada.

Encara que no s'han trobat les dimensions del sistema, segons el que explica el fabricant (que és un sistema per creuers) i segons les il·lustracions que proporciona, es pot veure que és un sistema que ocupa molt espai. No obstant, ofereix unes capacitats de tractament molt importants, de fins a 120 metres cúbics per hora. A continuació es pot apreciar com estarien distribuït els diferents elements del sistema:



Il·lustració 41. Evac EcoOcean, esquema de distribució dels elements del sistema - Font: Evac

8.4.2 Evac MBR

Evac MBR són sistemes de tractament avançat aprovats per la IMO segons MEPC.227(64) (amb la possibilitat d'utilitzar-los en la nova zona especial del mar Bàltic), que ofereixen una solució de tractament a través de la combinació d'un bioreactor i una membrana filtradora. A diferència del EcoOcean, aquests models estan pensats per tot tipus de vaixell, per això el fabricant ofereix un rang molt ampli de capacitats de tractament. Fins i tot ofereix la possibilitat de fabricar un model adaptat a les necessitats del client en cas de que cap dels models estàndards no s'ajusti per unes condicions concretes. A continuació es proporciona una taula resum amb les característiques que publica Evac de cada model:

Mida	Model Nr.	Capacitat de tractament (m3/dia)	Carrega orgànica (kg/dia)	Pes sec (kg)	Pes humit (kg)	Dimensions L x W x H (mm)
Petita (C)*	Evac MBR 2K	2,25	1,15	1.230	3.480	1.430 x 2.510 x 2.200
	Evac MBR 4K	4,5	2,3	1.230	3.510	1.430 x 2.510 x 2.200
Mitjana (C)* (N)**	Evac MBR 7K	7,5	4	2.427	7.735	1.865 x 3.130 x 2.200
	Evac MBR 15K	16	8	3.850	12.650	2.000 x 4.225 x 2.200
	Evac MBR 22K	22	11	4.375	15.426	2.115 x 4.490 x 2.200
	Evac MBR 30K	30	15	5.600	22.000	2.860 x 4.255 x 2.200
	Evac MBR 45K	45	23	6.649	28.660	2.980 x 5.555 x 2.200
Gran (N)**	Evac MBR 70K	70	35	4.985	18.180	4.390 x 2.289 x 2.200
	Evac MBR 95K	95	50	6.397	24.816	5.690 x 2.469 x 2.200
	Evac MBR 120K	120	60	7.418	31.316	5.890 x 2.890 x 2.200
	Evac MBR 145K	145	75	8.472	37.286	6.898 x 2.969 x 2.200

Taula 8. Característiques Evac MBR - Font: Evac

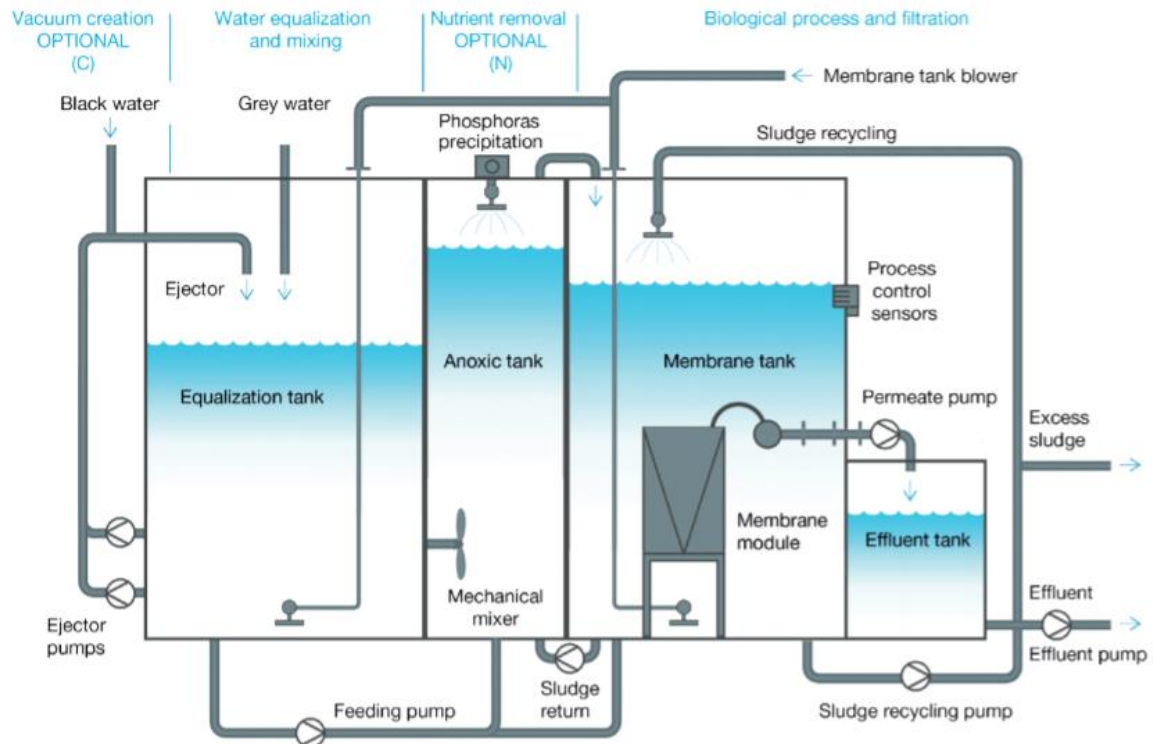
(C)* - models que estan disponibles amb equip de creació de buit

(N)** - models disponibles amb l'opció d'eliminar els nutrients

Com es pot observar en la taula anterior, els sistemes són bastant compactes però les capacitats de tractament són molt inferiors als 120 metres cúbics per hora del sistema Evac EcoOcean.

Procés de tractament

El disseny d'aquest sistema es pot considerar bastant estàndard, que consisteix en un tanc d'homogeneïtzació i barreja, uns elements de desbasts, un bioreactor airejat i una membrana d'ultrafiltració submergida que treballa a un diferencial de pressió de 30 mbar. Opcionalment es pot afegir al sistema un pas d'eliminació de nutrients. Segons el fabricant, els resultants obtinguts amb el procés fan innecessari cap etapa addicional de desinfecció per UV o productes químics.



Il·lustració 42. Diagrama del procés de tractament del sistema Evac MBR - Font: Evac



Il·lustració 43. Evac MBR - Font: Evac

8.4.3 Evac ORCA IV B

Evac ORCA IV B és una família de plantes que basen el seu tractament en un procés electrolític. El sistema compleix amb els requeriments de la resolució MEPC.227(64) i els rangs de tractament son entre 1.350 i 63.000 litres per dia. A continuació es poden observar els diferents models disponibles amb les seves característiques:

Model Nr.	Capacitat de tractament (L/dia)	Càrrega orgànica (kg/dia)	Pes sec (kg)	Pes humit (kg)	Dimensions L x W x H (mm)
Evac ORCA IV B 15	1.350	1,2	350	550	1.013 x 912 x 1.637
Evac ORCA IV B 35	3.150	2,8	420	1.000	1.204 x 1.050 x 1.637
Evac ORCA IV B 50	4.500	4	570	1.250	1.178 x 1.148 x 1.919
Evac ORCA IV B 65	5.850	5,2	630	1.550	1.390 x 1.322 x 1.860
Evac ORCA IV B 100	9.000	8	800	2.330	1.818 x 1.105 x 1.785
Evac ORCA IV B 200	18.000	16	1.400	4.450	2.270 x 1.820 x 1.805
Evac ORCA IV B 300	27.000	24	2.050	6.700	3.400 x 1.830 x 1.818
Evac ORCA IV B 500	45.000	40	2.870	9.000	4.670 x 1.820 x 1.805
Evac ORCA IV B 600	54.000	48	3.520	11.100	5.870 x 1.820 x 1.805
Evac ORCA IV B 700	63.000	56	4.220	13.500	7.070 x 1.820 x 1.937

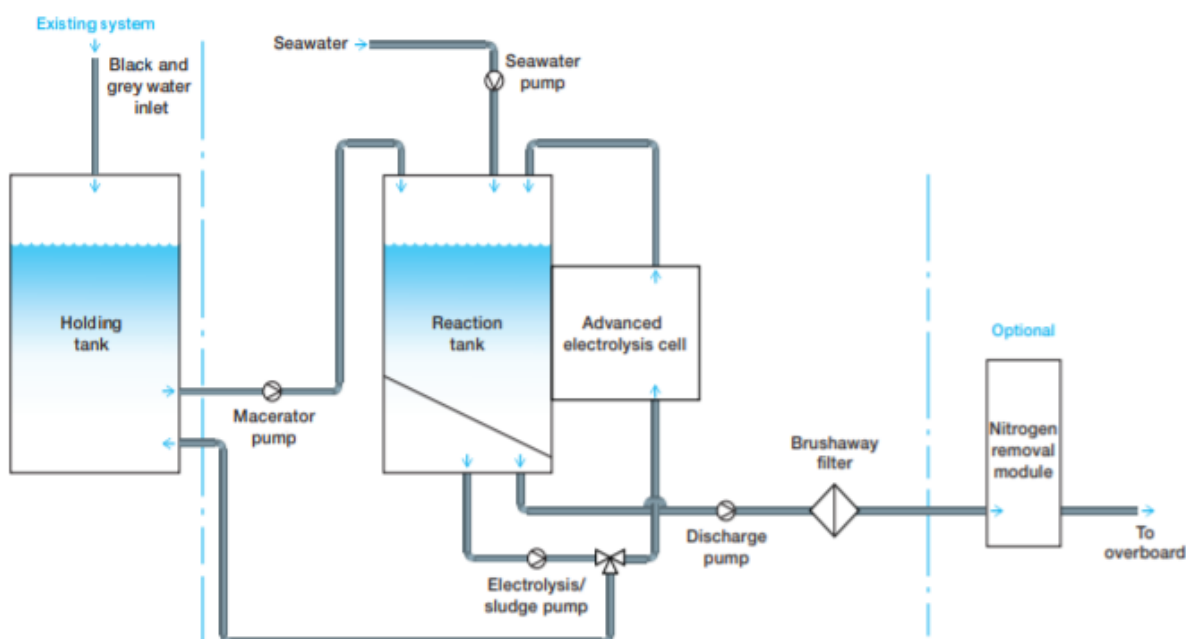
Taula 9. Característiques Evac ORCA IV B - Font: Evac

Es podria dir que aquesta sèrie ofereix opcions de tractament quan les necessitats són petites o mitjanes. Les dimensions són bastant compactes i els pesos relativament petits. Igual que altres sistemes, aquest també funciona de forma automàtica i s'indica que necessita poc manteniment.

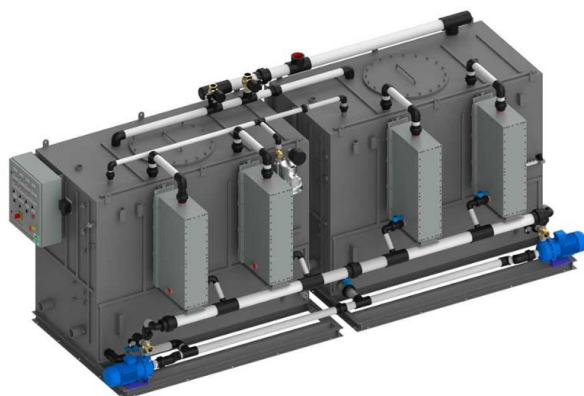
Procés de tractament

Encara que el fabricant no dona més explicacions sobre el procés de tractament d'aquest sistema apart del diagrama, s'intentarà explicar com es creu que funciona aquest procés. L'aigua residual arriba primer a un tanc de retenció després del qual es bombejada amb l'ajut d'una bomba trituradora cap a un altre tanc. Aquest tanc és el que té una cel·la d'electròlisi amb la qual aplicant corrent elèctric a l'aigua s'aconsegueix desestabilitzar les partícules residuals en suspensió, degradar la matèria orgànica i desinfectar. Les partícules desestabilitzades coagulen i formen flòculs que són fàcilment eliminables. El que se sol fer es afegir algun producte químic especial que fa sedimentar aquest flòculs o alternativament fer-los ajuntar en una capa a al superfície.

L'aigua neta finalment és bombejada a través d'un filtre per poder ser descarregada del sistema. Opcionalment es pot instal·lar una fase d'eliminació de nitrogen.



Il·lustració 44. Diagrama del procés de tractament del sistema Evac Orca IV B - Font: Evac



Il·lustració 45. Evac Orca IV B - Font: Evac

8.4.4 Evac EcoTreat

Evac EcoTreat és una planta de tractament d'aigües residuals pensada per vaixells de menor mida, al tenir poc pes i unes dimensions compactes. El seu funcionament està basat en un procés biològic. Aquest model també compleix els requeriments de la MEPC.227(64) excepte la secció 4.2. A continuació es poden veure les característiques principals d'aquesta sèrie:

Model Nr.	Capacitat de tractament (m3/dia)	Carrega orgànica (kg/dia)	Dimensions W x L x H (mm)
Evac EcoTreat 2	1,85	0,75	2.210 x 1.320 x 1.570
Evac Ecotreat 4	3,7	1,5	2.310 x 1.620 x 1.570
Evac EcoTreat 5	5,55	2,25	2.910 x 1.620 x 1.570

Evac EcoTreat 7	7,4	3	3.510 x 1.650 x 1.570
Evac Ecotreat 9	9,25	3,75	3.310 x 1.650 x 1.860
Evac Ecotreat 11	11,1	4,5	3.760 x 1.650 x 1.860

Taula 10. Característiques Evac EcoTreat - Font: Evac

Procés de tractament

Aquest sistema fa servir un tractament principalment biològic. L'afluent primer arriba a un tanc de barreja i posteriorment es bombeja a través d'una bomba trituradora al bioreactor. El bioreactor té un llit fixe a on estan els cultius de bacteris que fan la digestió de residus. Perquè el procés biològic funcioni correctament, al bioreactor hi ha connectats uns difusors d'aire que aporten oxigen als microorganismes. Finalment abans de descarregar l'efluent, se'l fa passar per una unitat de llum ultraviolada, per acabar desinfectar-lo.

El gran avantatge d'aquests models segons el fabricant és que no hi ha la necessitat de fer servir cap producte químic ni filtres. A més a més es dona a entendre que són sistemes més barats.



Il·lustració 46. Evac EcoTreat - Font: Evac

8.5 Victor Marine

Victor Marine és una empresa britànica que en el seu catàleg de productes, apart de plantes de tractament d'aigües residuals per vaixells, ofereixen separadors d'aigües amb olis, màquines de neteja de tancs i ventiladors d'alliberament de gasos.

8.5.1 Victor Marine's FBBR (Fixed Bed Biofilm Reactor)

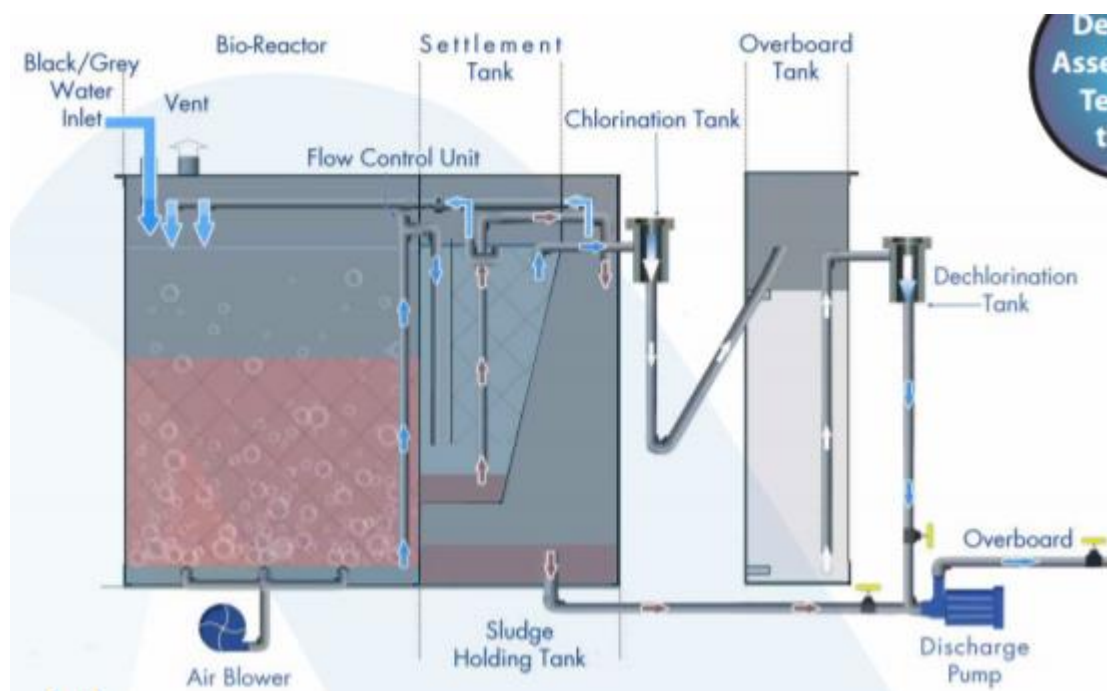
Victor Marine's FBBR són plantes de tractament del tipus biològic convencional. Compleixen amb els últims estàndards de la IMO segons els requeriments de la MEPC.227(64) excepte la secció 4.2. Poden treballar tant amb sistemes sanitaris que funcionin amb buit com amb els que funcionin per gravetat. El fabricant ofereix tres models diferents d'aquesta sèrie:

Model Nr.	Capacitat de tractament (m3/dia)	Càrrega orgànica (kg DBO/dia)	Pes sec (kg)	Pes humit (kg)	Dimensions L x W x H (mm)
FBBR 15	3	1,05	800	2600	1.972 x 1.532 x 1.264
FBBR 30	6	2,1	1000	4000	2.272 x 1.832 x 1.514
FBBR 50	10	3,5	1500	6600	2.572 x 2.162 x 1.844

Taula 11. Característiques Victor Marine's FBBR - Font: Victor Marine

Tal com ja indiquen els noms de cada model, el fabricant suggereix que el model FBBR 15 seria ideal per tractar l'aigua residual generat per 15 persones, el model FBBR 30 per 30 persones i el FBBR 50 per 50 persones.

Procés de tractament



Il·lustració 47. Diagrama del procés de tractament del sistema Victor Marine's FBBR - Font: Victor Marine

En la primera fase, l'aigua residual triturada arriba al bioreactor. El reactor és del tipus llit fixe, que consisteix en una estructura inorgànica amb un gran àrea per facilitar el creixement del biofilm i en conseqüència maximitzar el volum de la biomassa perquè el procés biològic tingui un millor rendiment. Al fons del bioreactor hi ha un difusor d'aire que va aportant l'oxigen que necessiten els microorganismes. En la part d'a dalt del tanc hi ha una obertura de ventilació perquè puguin sortir els gasos que es van formant en el procés.

Cap a la següent fase, l'afluent passa a través d'un sistema de tubs que estan dissenyats de tal forma que es pugui controlar i estabilitzar sempre el sistema encara que hi hagi pics o nivells baixos de flux. La següent fase consisteix en un tanc de sedimentació de fangs. Els fangs que es generen van a un altre tanc de retenció.

Després de clarificar-la, l'aigua passa per la unitat de cloració i es manté durant un petit temps en un tanc per la desinfecció. Finalment abans de descarregar l'efluent, se'l passa per un procés de decloració, que serveix per eliminar el clor residual.

A continuació es poden veure els resultats obtinguts en les proves necessàries per complir amb els requisits de la resolució MEPC.227(64):

Paràmetre	Requisits MEPC.227(64)	Victor Marine's FBBR
Mitjana geomètrica de coliforms termotolerants	<100 coliforms/100 ml	1,75 coliform/100 ml
Mitjana geomètrica del número TSS	<35 mg/L	11,46 mg/L
Mitjana geomètrica DBO ₅	<25 mg/L	2,99 mg/L
Mitjana geomètrica DQO	<125 mg/L	36,53 mg/L
Nivell pH	6 – 8,5	6 – 8,5
Nitrogen total	<20 mg/L o reducció mínima del 70%	-
Fòsfor total	<1 mg/L o reducció mínima del 80%	-
Residus de desinfectants (clor)	<0,5 mg/L	0,09 mg/L

Taula 12. Comparativa entre els requisits MEPC.227(64) i els resultats obtinguts pels sistemes de tractament Victor Marine's FBBR - Font: Victor Marine

Destacar que aquests sistemes no tenen cap fase de tractament de nutrients, per lo tant, sí que compleixen amb la normativa de la IMO però no podrien ser instal·lats en vaixells de passatge que naveguin per la zona especial del mar Bàltic.

8.6 ACO Marine

Empresa formada l'any 2006 com a divisió especialitzada del grup alemany ACO Group. Entre els productes que ofereix es poden trobar plantes de tractament d'aigües residuals, tancs o separadors de grassa.

8.6.1 ACO Maripur NF

Són sistemes de tractament d'aigües residual per àmbit marítim que estan certificats segons els requeriment de la IMO MEPC.227(64) incloent la secció 4.2. Consisteixen en un bioreactor amb filtració per membrana. A continuació es poden veure els models disponibles d'aquesta sèrie i les seves característiques:

Model Nr.	Capacitat de tractament (m3/dia)	Dimensions L x W x H (mm)
ACO Maripur NF 25	5,75	2.190 x 1.560 x 1.800
ACO Maripur NF 50	11,5	2.650 x 2.630 x 2.160
ACO Maripur NF 75	17,25	2.590 x 2.350 x 2.440
ACO Maripur NF 100	23	3.610 x 2.600 x 2.280
ACO Maripur NF 150	34,5	4.600 x 2.430 x 2.320
ACO Maripur NF 200	46	4.840 x 2.270 x 2.730
ACO Maripur NF 250	57,5	6.100 x 2.310 x 2.230

Taula 13. Característiques ACO Maripur NF - Font: ACO Marine

En el cas de que es vulgues instal·lar una d'aquestes plantes en un vaixell ja construït, el fabricant especifica que existeix la possibilitat de lliurar el sistema separat en de 2 a 5 mòduls independents que un cop instal·lats en el vaixell, es connecten entre ells.

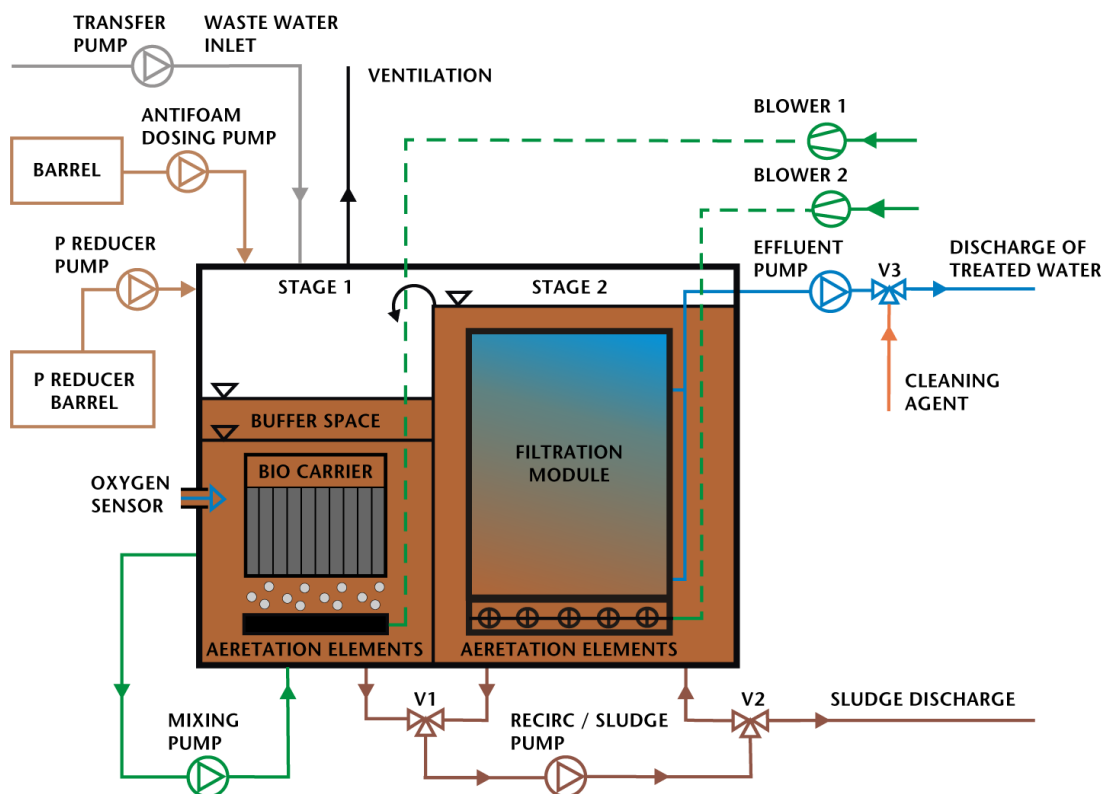
Procés de tractament

L'aigua residual entra al bioreactor on es produeix la purificació biològica per fangs activats, que són una biomassa de microorganismes.

El procés biològic és aeròbic, per tant els difusors que hi ha connectats al tanc sempre van proporcionant aire que conté l'oxigen necessari pels bacteris. A més a més, els difusors ajuden a mantenir nets els mòduls de filtració. També en el mateix tanc es va produint contínuament un procés de barrejat per assegurar un procés uniforme.

El contingut de la primera etapa es va transferint cap al segon compartiment que és on està la membrana d'ultrafiltració. Aquest segon compartiment està pensat de tal forma que en cas de que es vulgui fer un manteniment en els mòduls de filtració no s'hagi de descarregar tot el sistema. Els tancs estan dissenyats de tal forma que part del contingut de la segona etapa es pugui tornar a vessar en el primer.

En aquesta segona etapa l'aigua tractada biològicament es va separant dels fangs activats. Una part d'aquests fangs es van retornant a la primera fase mentre que els excessos es descarreguen a un altre compartiment. Les mateixes membranes serveixen per retenir bacteris i alguns virus.



Il·lustració 48. Diagrama del procés de tractament del sistema ACO Maripur NF - Font: ACO Marine

Els resultats obtinguts del efluent són els següents:

Paràmetre	Requisits MEPC.227(64)	ACO Maripur NF
Mitjana geomètrica de coliforms termotolerants	<100 coliforms/100 ml	17,5 coliform/100 ml
Mitjana geomètrica del número TSS	<35 mg/L	2,4 mg/L
Mitjana geomètrica DBO ₅	<25 mg/L	7,3 mg/L
Mitjana geomètrica DQO	<125 mg/L	60 mg/L
Nivell pH	6 – 8,5	6 – 8,5
Nitrogen total	<20 mg/L o reducció mínima del 70%	7,2
Fòsfor total	<1 mg/L o reducció mínima del 80%	0,3
Residus de desinfectants (clor)	<0,5 mg/L	0 mg/L

Taula 14. Comparativa entre els requisits MEPC.227(64) i els resultats obtinguts pels sistemes de tractament ACO Maripur NF - Font: ACO Marine



Il·lustració 49. ACO Maripur NF - Font: ACO Marine

8.6.2 ACO Clarimar MF

ACO Clarimar MF son plantes que compleixen amb els requeriments IMO MEPC.227(64) amb l'excepció de la secció addicional 4.2, per tant no podrien ser utilitzades per vaixells de passatge en la nova zona especial del mar Bàltic sota l'annex IV del MARPOL 73/78. Són sistemes de tractament biològic amb filtració i una fase final de desinfecció amb llum ultraviolada.

El fabricant ofereix 11 models diferents d'aquesta sèrie:

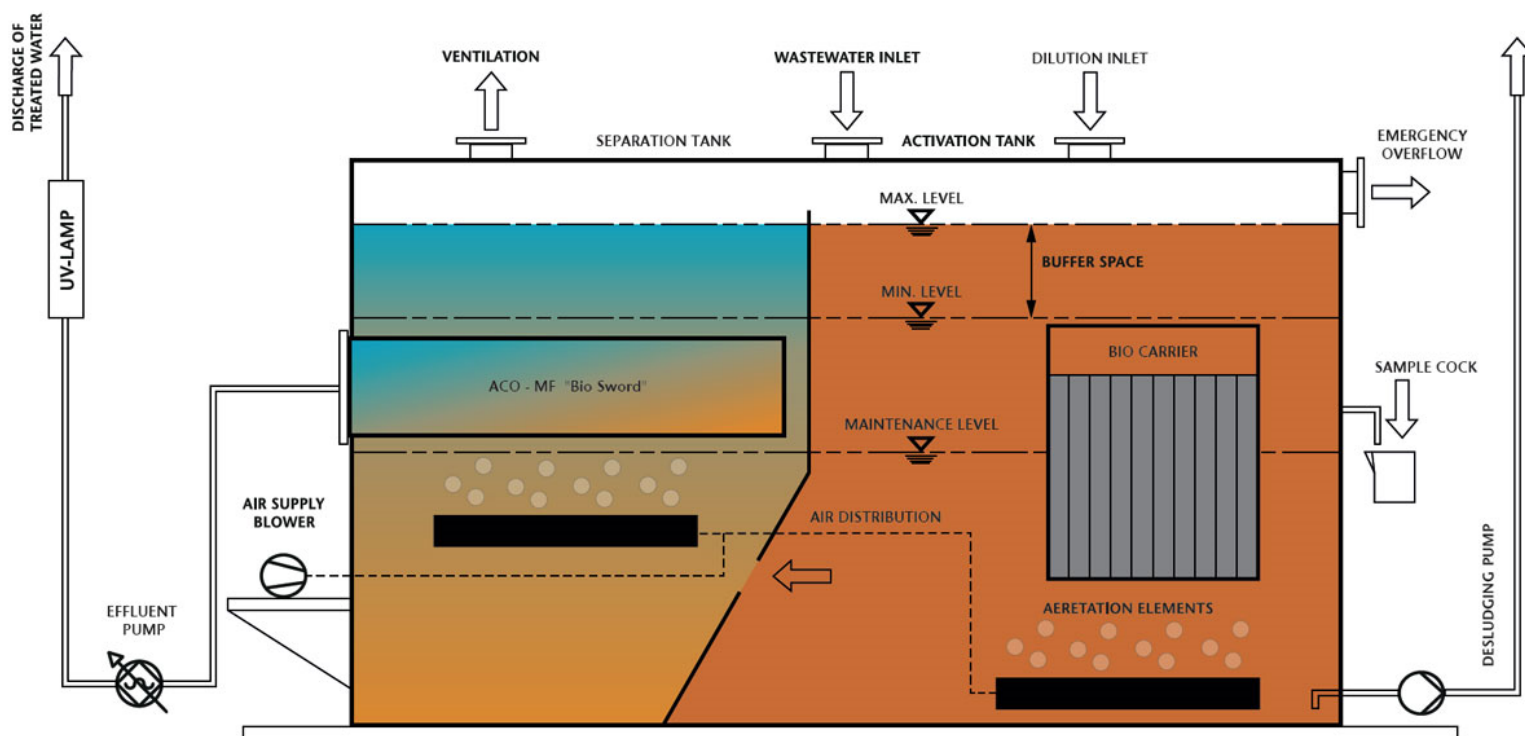
Model Nr	Capacitat de tractament (L/dia)	Càrrega orgànica (kg DBO/dia)	Dimensions L x W x H (mm)
ACO Clarimar MF-0,5	1.200	0,77	1.445 x 1.130 x 1.607
ACO Clarimar MF-1	2.100	1,31	1.658 x 1.315 x 1.686
ACO Clarimar MF-2	3.500	2,41	1.958 x 1.405 x 1.746
ACO Clarimar MF-3	5.600	3,61	2.190 x 1.645 x 1.750
ACO Clarimar MF-4	7.200	4,59	2.400 x 1.901 x 1.743
ACO Clarimar MF-6	11.200	7,22	2.786 x 2.201 x 2.070
ACO Clarimar MF-8	14.200	9,1	3.070 x 2.351 x 2.077
ACO Clarimar MF-10	18.900	12,14	3.820 x 2.351 x 2.077
ACO Clarimar MF-12	22.400	14,44	2.805 x 4.893 x 2.070
ACO Clarimar MF-16	28.300	18,16	3.111 x 5.193 x 2.077
ACO Clarimar MF-20	37.800	24,28	3.855 x 5.193 x 2.077

Taula 15. Característiques ACO Clarimar MF - Font: ACO Marine

Procés de tractament

L'aigua residual entra al bioreactor que treballa en condicions aeròbiques. Els microorganismes presents degraden els residus presents i generen diòxid de carboni, aigua i matèria inorgànica. Com ja s'ha explicat en altres sistemes semblants, els bacteris necessiten d'oxigen per poder dur a terme el procés de tractament, aquest oxigen es subministra per uns difusors connectats al tanc que van aportant aire. A més a més el que s'aconsegueix a través de l'aeració es homogeneïtzar el procés.

Seguidament l'aigua es transferida a la segona fase, on es troben els dispositius de filtració que tenen el nom comercial "Bio Sword". En aquest compartiment l'aigua és filtrada i per últim és bombejada a través d'una unitat de llum ultraviolada per acabar de desinfectar-la. Finalment l'aigua pot ser reutilitzada en qualsevol altre procés excepte com aigua potable. També hi ha una bomba instal·lada en el sistema per controlar els excessos de fangs.



Il·lustració 50. Diagrama del procés de tractament del sistema ACO Clarimar MF - Font: ACO Marine

Els resultats obtinguts de l'efluent són els següents:

Paràmetre	Requisits MEPC.227(64)	ACO Clarimar MF
Mitjana geomètrica de coliforms termotolerants	<100 coliforms/100 ml	25 coliform/100 ml
Mitjana geomètrica del número TSS	<35 mg/L	14 mg/L
Mitjana geomètrica DBO ₅	<25 mg/L	3 mg/L

Mitjana geomètrica DQO	<125 mg/L	25 mg/L
Nivell pH	6 – 8,5	7,44
Nitrogen total	<20 mg/L o reducció mínima del 70%	-
Fòsfor total	<1 mg/L o reducció mínima del 80%	-
Residus de desinfectants (clor)	<0,5 mg/L	0 mg/L

Taula 16. Comparativa entre els requisits MEPC.227(64) i els resultats obtinguts pels sistemes de tractament ACO Clarimar MF - Font: ACO Marine



Il·lustració 51. ACO Clarimar MF - Font: ACO Marine

8.7 De Nora

De Nora és una empresa internacional fundada l'any 1923 i està centrada en oferir tecnologies relacionades amb l'aigua i elèctrodes a tot tipus de sectors.

Encara que l'empresa ofereix tres series diferents de plantes de tractament d'aigües residuals per vaixells, s'ha decidit incloure només una d'elles en aquest treball degut a que és l'única que està certificada segons la IMO MEPC.227(64). Les altres dues, sí que estan certificades per la IMO però amb els estàndards vells de la MEPC.159(55), per lo tant aquests sistemes estarien obsolets i no es podrien instal·lar en l'actualitat en un vaixell com unes plantes certificades per l'Administració.

8.7.1 OMNIPURE Series 64 G2

Les OMNIPURE Series 64 G2, com s'ha explicat en l'apartat anterior, són uns models de plantes certificats segons la IMO MEPC.227(64). Són els model més nous que ofereix aquesta empresa i basen el seu tractament en un procés electrolític. Les característiques dels models d'aquesta sèrie són els següents:

Model Nr.	Capacitat de tractament (L/dia)	Pes sec (kg)	Pes humit (kg)	Dimensions L x W x H (mm)
6405	4.845	454	568	2.134 x 940 x 2.001
6408	8.042	612	840	2.235 x 1.016 x 2.210
6413	13.149	742	1.120	2.337 x 1.092 x 2.134
6417	17.206	869	1.852	2.438 x 1.092 x 2.388
6424	24.145	998	2.322	2.591 x 1.270 x 2.413
6430	30.470	1.413	3.115	3.658 x 1.575 x 2.667
6440	40.431	1.477	3.729	3.658 x 1.676 x 2.159
6450	49.950	1.523	4.366	3.6558 x 1727 x 2.261

Taula 17. Característiques OMNIPURE Series 64 G2 - Font: De Nora

Procés de tractament

L'aigua residual entra primer en un tanc de retenció. A la mateixa vegada, en un altre compartiment de barreja es va preparant una solució amb aigua potable que se li va afegint un polímer especial.

L'aigua residual després és bombejada a través d'una cèl·lula electrolítica. Durant aquesta fase el que s'aconsegueix aplicant corrent elèctrica és: eliminar els patògens, degradar matèria orgànica i altres contaminants presents. També es va generant hipoclorit sòdic, que és un desinfectant.

En el següent pas, s'injecta la solució polimèrica preparada anteriorment i que té l'efecte d'aglomerar els flocs de sòlids que s'han generat en la fase anterior. Els residus es van ajuntant i formen una capa flotant en la superfície que després és fàcilment eliminable.

Per últim l'efluent es fa passar per una fase de decoloració per eliminar l'hipoclorit sòdic generat durant la electrolísis i ja es apte per la descarrega.

Destacar que el sistema no té cap fase per eliminar els nutrients, per lo tant no compliria amb la secció 4.2 de la MEPC.227(64) i no podria ser instal·lat en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic.

Els resultats obtinguts de l'efluent són els següents:

Paràmetre	Requisits MEPC.227(64)	OMNIPURE Series 64 G2
Mitjana geomètrica de coliforms termotolerants	<100 coliforms/100 ml	<100 coliform/100 ml
Mitjana geomètrica del número TSS	<35 mg/L	23 mg/L
Mitjana geomètrica DBO ₅	<25 mg/L	17 mg/L
Mitjana geomètrica DQO	<125 mg/L	84 mg/L
Nivell pH	6 – 8,5	6 – 8,5

Nitrogen total	<20 mg/L o reducció mínima del 70%	-
Fòsfor total	<1 mg/L o reducció mínima del 80%	-
Residus de desinfectants (clor)	<0,5 mg/L	<0,5 mg/L

Taula 18. Comparativa entre els requisits MEPC.227(64) i els resultats obtinguts pels sistemes de tractament OMNIPURE Series 64 G2 - Font: De Nora



Il·lustració 52. OMNIPURE Series 64 G2 - Font: De Nora

8.8 HAMMAN AG

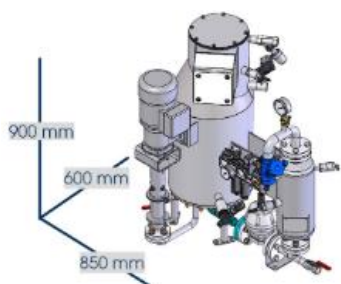
HAMMAN AG és una empresa alemanya fundada l'any 1972. Es dedica exclusivament al sector del tractament d'aigües residual per vaixells. Apart de les plantes que venen, ofereixen servei de consultoria tècnica.

8.8.1 HL-CONT Compact 0125

HAMMAN AG ofereix aquesta planta com una solució per vaixells petits i pels casos que hi hagi poc espai disponible per la instal·lació. Té una capacitat de tractament de 3000 litres diaris i està pensada per unes 16 persones a bord. HL-CONT Compact està certificada segons els requisits de la MEPC.227(64) amb l'excepció de la secció 4.2. A continuació es pot veure una taula resum amb les característiques del sistema:

Model Nr.	Capacitat de tractament (L/dia)	Pes sec (kg)	Mida L x W x H (mm)
HL-CONT Compact 0125	3.000	72	850 x 600 x 900

Taula 19. Característiques HL-CONT Compact 0125 - Font: HAMANN AG



Il·lustració 53. HL-CONT Compact 0125 - Font: HAMANN AG

Procés de tractament

El principi de tractament d'aquesta planta és igual al de la sèrie més gran que ofereix aquest fabricant: HL-CONT Plus. L'afluent passa primer per una màquina trituradora i després es transferit a un tanc. Aquest tanc és on s'eliminen tots els residus a través d'un procés de flotació. S'injecten petites bombolles de gas que adhireixen les partícules de residus presents en l'aigua i les porten a la superfície, des d'on són eliminades. Per últim es bombeja l'aigua a través d'una unitat de desinfecció per llum ultraviolada.

8.8.2 HL-CONT Plus

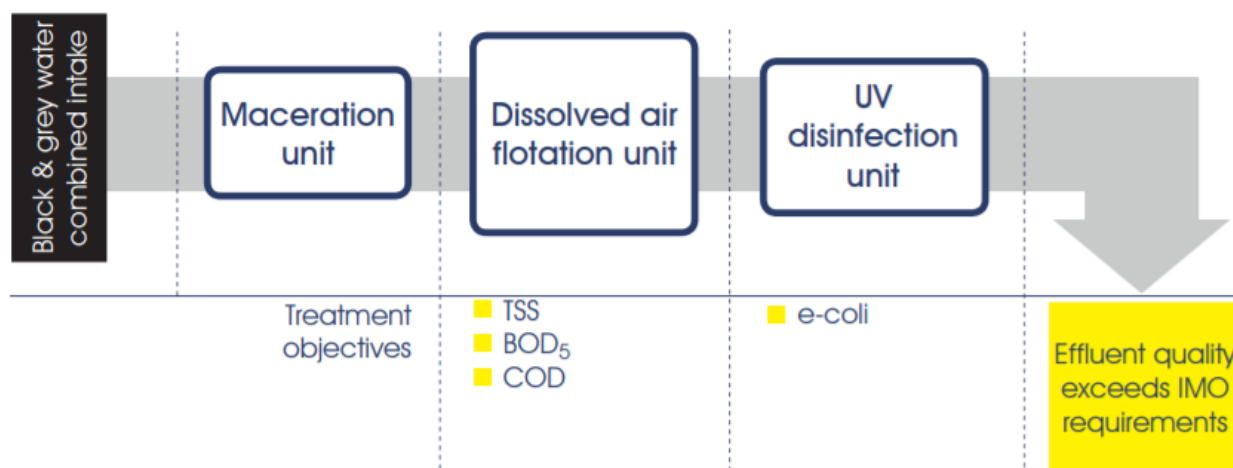
Aquesta sèrie de plantes és casi idèntica al sistema explicat anteriorment. La diferència és que en aquest cas són models més grans i amb més capacitat de tractament. També estan certificats segons la MEPC.227(64) excepte la secció 4.2. Els models disponibles són els següents:

Model Nr.	Capacitat de tractament (L/dia)	Pes sec (kg)	Mida L x W x H (mm)
HL-CONT Plus 025	6.000	312	1.200 x 900 x 900
HL-CONT Plus 05	12.000	691	1.300 x 1.000 x 1.400
HL-CONT Plus 10	24.000	880	1.200 x 1.600 x 1.800
HL-CONT Plus 20	48.000	1.600	2.100 x 1.600 x 2.100
HL-CONT Plus 40	96.000	2.234	2.500 x 2.300 x 2.300
HL-CONT Plus 80	192.000	4.700	4.700 x 2.100 x 2.800

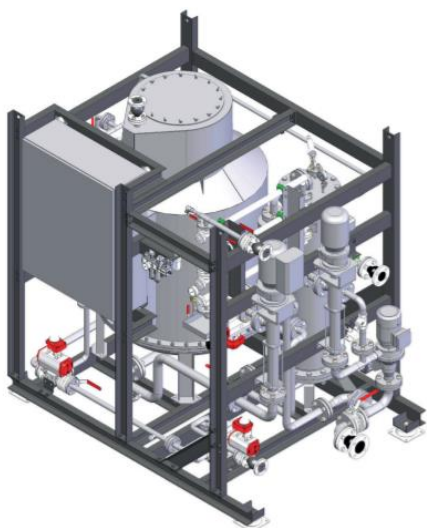
Taula 20. Característiques HL-CONT Plus - Font: HAMMAN AG

Procés de tractament

Com es va comentar en el cas de la planta de tractament HL-CONT Compact 0125, el procés de tractament consisteix en una fase de trituració, una fase de flotació i una de desinfecció UV.



Il·lustració 54. Diagrama del procés de tractament dels sistemes HL-CONT Plus - Font: HAMMAN AG



Il·lustració 55. HL-CONT Plus - Font: HAMMAN AG

8.8.3 HL-CONT Plus OceanCruise

Aquesta sèrie està pensada per poder ser instal·lada en vaixells de passatge en zones especials sota l'Annex 4 del MARPOL (Mar Bàltic). Per tant són uns models que tenen la capacitat per tractar els nutrients i compleixen amb tots els requisits de la MEPC.227(64). Destacar la modularitat d'aquestes plantes, podent ser instal·lats els mòduls separats fins i tot en cobertes diferents. Els models estàndards disponibles són els següents:

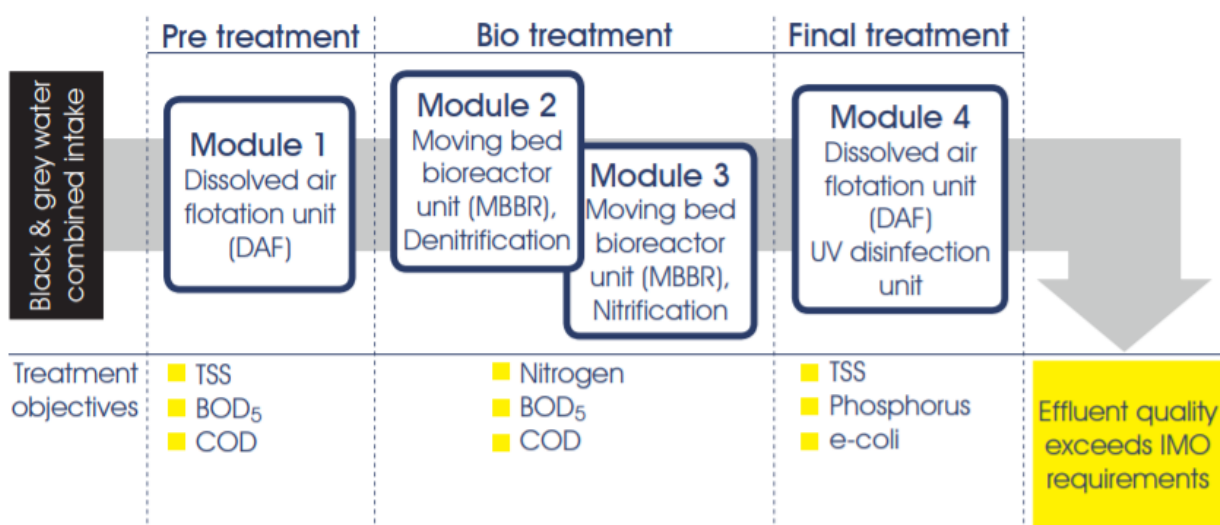
Model Nr.	Capacitat de tractament (L/dia)	Àrea necessària per la instal·lació (m2)
HL-CONT Plus OceanCruise 025	6.000	3,1
HL-CONT Plus OceanCruise 05	12.000	4,5

HL-CONT Plus OceanCruise 10	24.000	9,1
HL-CONT Plus OceanCruise 20	48.000	12
HL-CONT Plus OceanCruise 40	96.000	21
HL-CONT Plus OceanCruise 80	192.000	39

Taula 21. Característiques HL-CONT Plus OceanCruise - Font: HAMMAN AG

El fabricant indica que si es necessita, existeix la possibilitat de fabricar models de capacitats més grans.

Procés de tractament



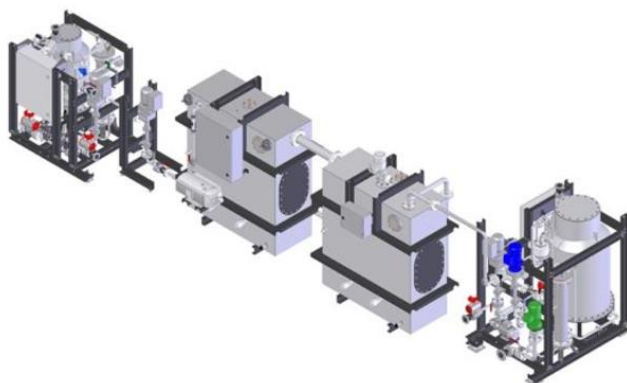
Il·lustració 56. Diagrama del procés de tractament dels sistemes HL-CONT Plus OceanCruise - Font: HAMMAN AG

Les aigües residuals entren al primer mòdul de pretractament que consisteix en un procés de flotació amb el qual s'aconsegueix eliminar els sòlids en suspensió més grans i part de la matèria orgànica.

Seguidament l'aigua és transferida cap als mòduls de tractament biològic. Aquests mòduls consisteixen en uns reactors amb portadors de biofilm en moviment. Els microorganismes degraden la matèria orgànica restant i a més a més s'elimina el nitrogen present.

En la següent etapa, l'aigua torna a passar a través d'un procés de flotació amb l'ajut del qual s'eliminen els sòlids en suspensió restants. Durant aquesta fase també s'elimina l'altre nutrient que és el fòsfor.

Finalment, abans de descarregar-lo, l'efluent es desinfecta amb l'ajut d'una unitat de llum ultraviolada.



Il·lustració 57. HL-CONT Plus OceanCruise - Font: HAMMAN AG

8.9 Jets

Jets és una empresa amb seu en Hareid, Noruega i està especialitzada en desenvolupar sistemes sanitaris de funcionament amb buit. Tenen més de 25 anys d'experiència en disseny i fabricació de plantes de tractament d'aigües residuals.

8.9.1 Ecomotive

Ecomotive és una sèrie de plantes que basen el seu tractament en un bioreactor amb llit de biofilm en moviment. Aquestes plantes estan dissenyades per funcionar amb sistemes de recollida d'aigua residual amb buit. El fabricant indica que estan certificades segons la MEPC.227(64) però no especifica si s'inclou la secció 4.2. Els models que ofereix Jets d'aquesta sèrie són:

Model Nr. (kg DBO/dia)	Capacitat de tractament (L/dia)	Dimensions L x W x H (mm)
1,1	1.850	2.238 x 2.065 x 1.941
2,22	3.700	2.238 x 2.065 x 1.941
3,33	5.550	2.238 x 2.065 x 1.941
4,44	7.400	2.782 x 2.345 x 1.941
5,55	9.250	2.782 x 2.452 x 1.941
6,66	11.100	2.782 x 2.558 x 1.941
7,77	12.950	3.043 x 2.675 x 2.259
8,88	14.800	3.043 x 2.760 x 2.259
9,99	16.650	3.043 x 2.867 x 2.259
13,32	22.200	3.660 x 3.227 x 2.259
16,65	27.750	3.661 x 3.367 x 2.259
22,2	37.000	4.700 x 3.863 x 2.952
33,3	55.500	5.472 x 4.512 x 2.953
44,4	74.000	6.251 x 4.968 x 2.913

Taula 22. Característiques Ecomotive - Font: Jets

Procés de tractament

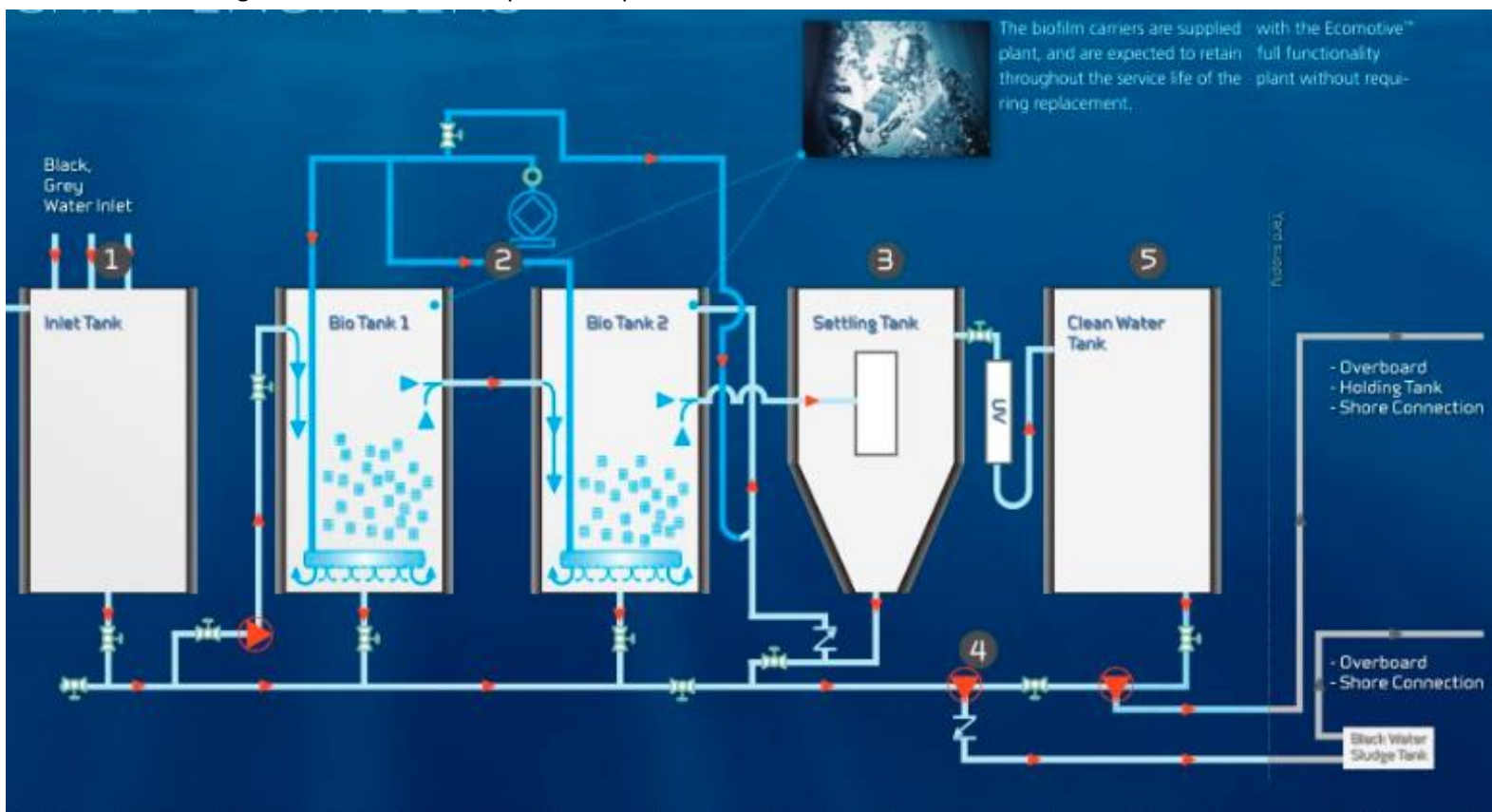
En la primera fase, les aigües negres i les aigües grises arriben a un tanc de retenció a on es van barrejant. Des d'aquest tanc es va bombejant l'aigua residual de forma constant cap a les fases de tractament.

En la segona fase, l'afluent passa per dos bioreactors que contenen els microorganismes sobre uns suports en suspensió. Es va aportant oxigen mentre els bacteris van degradant els residus.

En la tercera fase, l'aigua entra en un tanc de sedimentació. Amb l'ajut d'aquest tanc es van sedimentant els fangs.

Una part d'aquest fangs es retornada als bioreactors mentre que la resta és enviada a un tanc de retenció de fangs.

En l'última fase, l'efluent passa per una unitat de desinfecció per llum ultraviolada. L'aigua neta pot ser descarregada al mar o utilitzada per altres processos a bord del vaixell.



Il·lustració 58. Diagrama del procés de tractament dels sistemes Ecomotive - Font: Jets

8.10 RWO Veolia

RWO Veolia és una empresa alemanya amb més de 40 anys d'experiència i ofereix solucions pel tractament de l'aigua a bord dels vaixells i en les plantes offshore. Apart dels sistemes de tractament d'aigües residuals ofereixen sistemes de tractament d'aigües de llast, sistemes de generació d'aigua dolça i sistemes de separació d'aigües olioses.

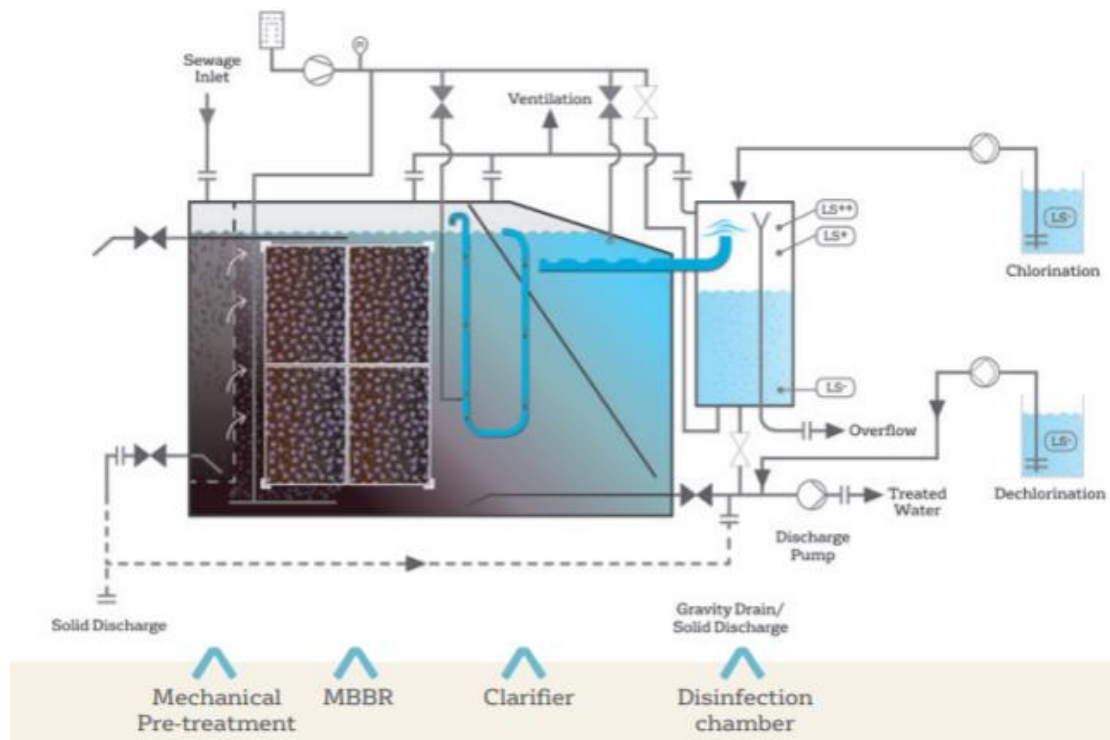
8.10.1 CleanSewage Bio

CleanSewage Bio són sistemes de tractament d'aigües residuals de bioreactor amb llit de biofilm en moviment. Tenen la certificació segons la MEPC.227(64). El fabricant no indica si aquests sistemes també compleixen amb les secció 4.2 de la resolució. Entre els avantatges que indica el fabricant, es pot destacar que no és necessari que hi hagi un tanc de retenció inicial, per lo tant l'espai ocupat pel sistema es redueix. Els models disponibles són:

Model Nr.	Capacitat de tractament (m3/dia)	Càrrega orgànica (kg DBO/dia)	Pes sec (kg)	Pes humit (kg)	Dimensions L x W x H (mm)
CS Bio 01	-	-	-	-	-
CS Bio 02	2,16	1,38	895	2.923	2.095 x 1.250 x 1.480
CS Bio 03	3,24	2,07	1.149	4.134	2.608 x 1.346 x 1.612
CS Bio 04	4,32	2,76	1.335	5.293	2.559 x 1.646 x 1.618
CS Bio 05	6,48	4,15	1.627	7.407	2.781 x 1.656 x 2.058
CS Bio 06	8,64	5,53	1.885	9.278	3.365 x 1.656 x 2.058
CS Bio 07	10,8	6,91	2.121	11.719	3.365 x 1.986 x 2.058

Taula 23. Característiques CleanSewage Bio - Font: RWO Veolia

Procés de tractament



Il·lustració 59. Diagrama del procés de tractament dels sistemes CleanSewage Bio - Font: RWO Veolia

L'aigua abans d'entrar al bioreactor passa per una fase de filtració per eliminar els sòlids més grans. En el bioreactor els microorganismes degraden la matèria orgànica mentre se'ls va aportant oxigen i van formant diòxid de carboni en forma de gasos i aigua. Els gasos són ventilats mentre que l'afluent passa a un tanc de sedimentació.

En el tanc de sedimentació, els sòlids residuals i els fangs activats són separats de l'aigua. Part d'aquests fangs es descarreguen a un tanc extern mentre que una part és retornada al bioreactor.

Per últim, l'aigua passa per un procés químic de desinfecció amb clor. Abans de descarregar l'efluent, aquest passa per un procés d'eliminació de clor residual.



Il·lustració 60. CleanSewage Bio - Font: RWO Veolia

8.11 Techni S.A.

Techni S.A. és una empresa grega fundada l'any 1965. Apart de les plantes de tractament per aigües residuals, ofereixen sistemes sanitaris de funcionament amb buit i sensors de nivell.

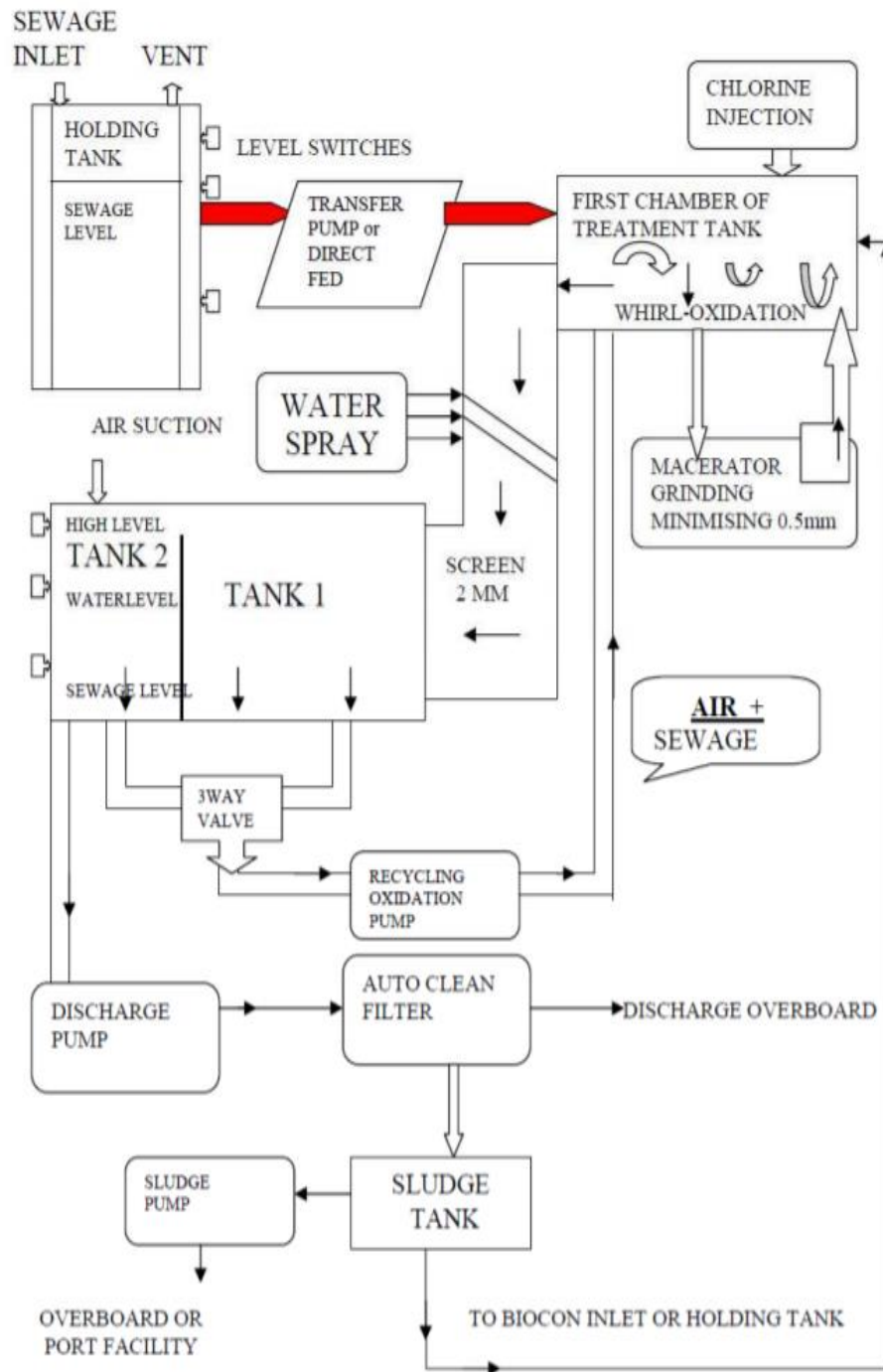
8.11.1 BIOCON

BIOCON són sistemes de tractament d'aigües residuals que compleixen amb els requeriments de la IMO MEPC.227(64) excepte la secció 4.2. El tractament d'aquests models està basat en processos fisicoquímics. Les característiques d'aquests models es poden veure a continuació:

Model Nr.	Capacitat de tractament (L/dia)	Càrrega orgànica (kg DBO/dia)	Pes sec (kg)	Dimensions L x W x H (mm)
BIOCON I	7.840	4,05	280	1.450 x 850 x 1.150
BIOCON II	24.200	12,45	340	1.600 x 1.000 x 1.200
BIOCON III	43.800	22,56	500	1.800 x 1.100 x 1.600
MINI-BIOCON	2.500	1,32	280	855 x 600 x 720

Taula 24. Característiques BIOCON - Font: Techni S.A.

Procés de tractament:



Il·lustració 61. Diagrama del procés de tractament dels sistemes BIOCON - Font: Techni S.A.

L'aigua residual es va acumulant en un tanc de retenció. Després es bombeja a la primera fase de tractament que consisteix en un compartiment que té connectat una màquina trituradora. L'aigua residual passa per aquesta màquina per reduir els sòlids que conté fins a un màxim de 0,5 mm.

En aquest mateix compartiment es van afegint a través d'un circuit de retroalimentació, oxigen i clor, per oxidar la matèria orgànica i eliminar els gèrmens. En només 12 minuts s'aconsegueixen els resultats desitjats gracies a la trituració efectuada prèviament i a les turbulències produïdes a l'interior del sistema.

Després d'aquesta fase, el fluid passa a través d'una membrana filtradora que serveix per separar els fangs que són enviats a un tanc de retenció. Finalment l'efluent es pot descarregar complint els requeriments de l'Administració.

8.12 Scienco/Fast

Scienco/FAST és una empresa filial de BioMicrobics Inc. amb més de 65 anys d'experiència i ofereix solucions de tractament d'aigües per diferents sector: marítim, agricultura, industrial, hospitals i institucions. El primer sistema de tractament d'aigües residuals per un vaixell fabricat per aquesta empresa va ser instal·lat l'any 1969. Els sistemes que ofereix aquesta empresa inicialment estaven certificats segons la MEPC.159(55) i l'any 2016 van aconseguir la certificació segons els estàndards actuals de la MEPC.227(64). (No s'indica si es compleix amb la secció 4.2)

8.12.1 LX-Series

Aquesta sèrie va ser dissenyada com una solució econòmica pel tractament d'aigües residuals en vaixells petits en els que embarquin de 1 a 17 persones. El tractament de les aigües és principalment biològic. Els models disponibles són els següents:

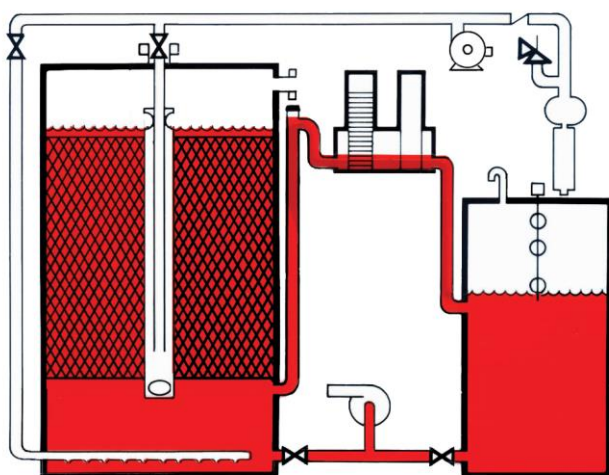
Model Nr.	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions bioreactor D x H (mm)	Dimensions tanc desinfecció D x H (mm)	Pes sec (kg)	Pes humit (kg)
L-1X	6	711,2 x 965,2	533,4 x 609,6	136	408
L-2X	8	787,4 x 1066,8	533,4 x 609,6	136	499
L-3X	12	711,2 x 965,2	533,4 x 609,6	181	635
L-4X	17	787,2 x 1066,8	533,4 x 787,4	181	816

Taula 25. Característiques LX-Series - Font: Scienco/FAST

Procés de tractament

L'aigua residual entra directament al bioreactor. El bioreactor té connectat un difusor d'aire per aportar oxigen als microorganismes perquè es pugui produir el procés de digestió de residus. Els organismes en aquests sistemes estan sobre un llit fixe.

Des d'aquesta fase, l'efluent passa a través d'una unitat cloració i és transfereix a un altre tanc a on es reten durant un temps perquè es desinfecti. Finalment l'aigua es pot descarregar.



Il·lustració 62. Diagrama del procés de tractament LX-Series - Font: Scienco/FAST



Il·lustració 63. LX-Series - Font: Scienco/FAST

8.12.2 M & MX-Series

Aquestes dues series són el mateix tipus de plantes amb l'única diferència que la sèrie M està dissenyada per situacions quan l'espai disponible és molt limitat i hi hagi la instal·lar els components del sistema per separat. En el cas de la sèrie MX tots els components formen un bloc soldat. A l'igual que la sèrie LX, el procés de tractament és biològic (bioreactor de llit fixe) amb una fase de desinfecció. Els models disponibles de la sèrie M són els següents:

Model Nr.	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions bioreactor L x W x H (mm)	Dimensions tanc desinfecció D x H (mm)	Pes sec (kg)	Pes humit (kg)
M-1	13	965,2 x 711,2 x 1.346,2	508 x 787,4	726	1.351
M-2	20	1.371,6 x 711,2 x 1.346,2	558,8 x 787,4	862	1.814
M-3	30	1.981,2 x 711,2 x 1.371,6	660,4 x 787,4	1043	2.404
M-4	40	1.371,6 x 711,2 x 1.371,6	736,6 x 787,4	1361	3.157

Taula 26. Característiques M-Series - Font: Scienco/FAST

En quant a la sèrie MX, existeixen els següents:

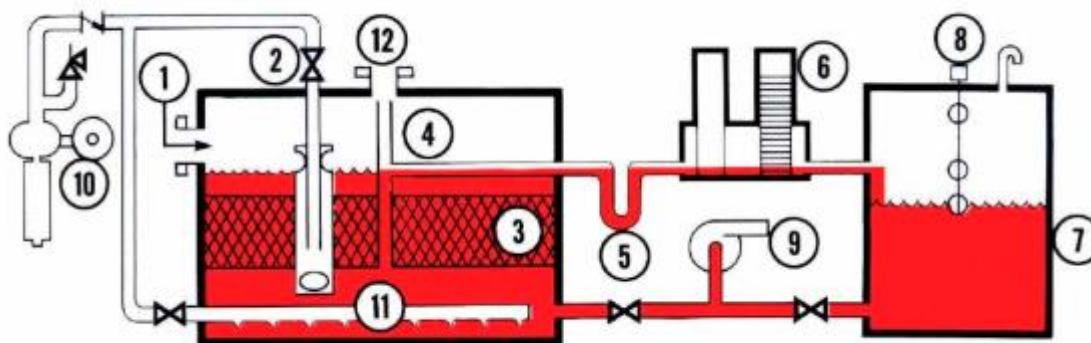
Model Nr.	Capacitat de tractament (Nr. màx. Persones)	Dimensions bloc L x W x H (mm)	Pes sec (kg)	Pes humit (kg)
MX-1	14	1.524 x 711,2 x 1.854,2	907	1.633
MX-2	21	2.108,2 x 711,2 x 1.854,2	998	2.087
MX-3	31	2.108,2 x 711,2 x 2.159	1.043	2.404
MX-4	45	2.108,2 x 1.016 x 2.159	1.270	3.311
MX-5	70	2.717,8 x 1.016 x 2.159	1.497	4.309

Taula 27. Característiques MX-Series - Font: Scienco/FAST

Procés de tractament

El procés de tractament és idèntic al de la sèrie LX. En aquest cas el fabricant proporciona un diagrama numerat explicant en que consisteix cada component del sistema:

1. Entrada d'aigua residual – no hi ha cap sistema de trituració o desbast. Pot entrar qualsevol combinació d'aigua negra i gris.
2. Difusor d'aire – aporta oxigen al tanc i crea turbulències que serveixen per trencar els sòlids grans en parts més petites. Està connectat al compressor.
3. Llit fixe – és la superfície on els microorganismes creen el biofilm i des d'on realitzen el procés de digestió. No necessita cap neteja manual.
4. Sistema de vessament – manté un nivell d'aigua constant en el bioreactor.
5. "Trampa" – amb aquesta forma de les canonades s'aconsegueix que no surtin les olors desagradables.
6. Unitat de cloració de tableta – l'aigua va dissolent les tablettes mentre va passant.
7. Tanc de desinfecció – és el tanc on es deixa l'aigua després de que hagi entrat en contacte amb el clor perquè es produeixi la desinfecció.
8. Interruptor de nivell
9. Bomba – serveix per transferir l'aigua entre els tancs del sistema.
10. Compressor – comprimeix aire i l'envia al sistema.
11. Sistema de neteja per aire – aprofitant l'aire del compressor, es va netejant automàticament el sistema.
12. Sistema de ventilació – per deixar sortir els gasos que es van generant durant el procés de digestió biològica. Està dissenyat de tal forma que no hi hagi males olors.



Il·lustració 64. Diagrama del procés de tractament M & MX-Series - Font: Scienco/FAST

8.12.3 D-Series

Aquesta sèrie va ser dissenyada per vaixells més grans i plataformes offshore. El fabricant especifica que els models d'aquesta sèrie també estan disponibles per ser entregats i instal·lats de forma modular, per casos quan l'espai disponible sigui reduït. A continuació es poden veure les característiques dels models:

Model Nr.	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions bloc L x W x H (mm)	Pes sec (kg)	Pes humit (kg)
D1	44	2.225 x 1.310,6 x 2.103,1	1.542	3.130
D2	64	2.438,4 x 1.524 x 2.133,6	1.769	3.946
D3	97	2.834,6 x 1.767,8 x 2.133,6	2.223	5.443
D4	146	3.291,8 x 2.103,1 x 2.225	2.812	7.711
D5	184	3.688 x 2.347 x 2.286	3.311	9.525
D6	258	4.236,7 x 2.712 x 2.316,5	4.309	13.154
D7	387	4.572 x 2.712,7 x 2.956,6	4.990	17.236
D8	607	5.516,88 x 3.322,32 x 3.139,44	6.940	25.855
D9	872	6.644,6 x 3.931,9 x 3.139,4	9.253	36.287

Il·lustració 65. Característiques D-Series (sistema en un sol bloc) - Font: Scienco/FAST

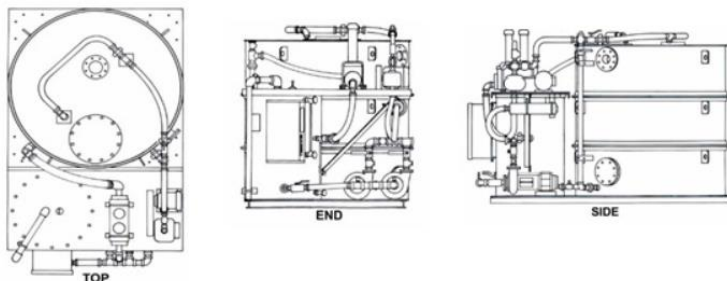
En el cas de que s'optés per l'alternativa modular, les dimensions dels mòduls serien els següents:

Model Nr.	Dimensions Bioreactor L x W x H (mm)	Dimensions mòdul maquinaria L x W x H (mm)	Dimensions tanc desinfecció L x W x H (mm)
D1	1.310,6 x 1.310,6 x 701	1.310,6 x 883,9 x 1.615,4	579,1 x 701 x 1.463
D2	1.524 x 1.524 x 701	1.524 x 883,9 x 1.615,4	701 x 701 x 1.463
D3	1.767,8 x 1.767,8 x 731,5	1.767,8 x 944,9 x 1.676,4	792,5 x 792,5 x 1.463
D4	2.103,1 x 2.103,1 x 731,5	2.103,1 x 1.066,8 x 1.677,6,4	944,9 x 944,9 x 1.463
D5	2.347 x 2.347 x 762	2.347 x 1.188,7 x 1.676,4	1.005,8 x 1.005,8 x 1.463
D6	2.712,7 x 2.712,7 x 762	2.712,7 x 1.341,1 x 1.789,3	1.188,7 x 1.188,7 x 1.463
D7	3.322,3 x 3.322,3 x 1.036,3	2.712,7 x 1.554,5 x 1.798,3	1.432,6 x 1.432,6 x 1.463
D8	3.931,9 x 3.931,9 x 1.036,3	3.322,3 x 1.889,8 x 1.798,3	1.767,8 x 1.767,8 x 1.463
D9	1.310,6 x 1.310,6 x 701	3.931,9 x 2.225 x 1.798,3	2.133,6 x 2.072,6 x 1.463

Il·lustració 66. Dimensions mòduls D-Series (sistema dividit per mòduls) - Font: Scienco/FAST

Procés de tractament

El procés de tractament és el mateix que en les altres series de plantes que ofereix aquest fabricant. L'únic que canvia són les dimensions.



Il·lustració 67. Dibuixos tècnics de les plantes de tractament D-Series - Font: Scienco/FAST

8.13 Altres empreses

Sistemes de tractament d'algunes empreses com per exemple EPE, Gertsen & Olufsen o Scanship no s'han inclòs en aquest informe. Això és degut a que no s'ha pogut aconseguir suficient informació sobre els seus productes ni en les respectives pàgines webs de les empreses, ni en cap altre lloc. Tampoc ha donat cap resultat intentar posar-se en contacte amb aquestes empreses. També s'han trobat casos d'empreses que no disposen de sistemes de tractament que compleixin i estiguin certificades segons els requeriments més actuals de la IMO segons la resolució MEPC.227(64).

8.14 Conclusions capítol

Primer de tot, comentar el fet de que s'ha intentat contactar amb totes les empreses que apareixen en aquest treball amb tal d'intentar obtenir més informació sobre els seus productes. Els resultats no han sigut els esperats, obtenint resposta per part de només dues empreses.

Un altre fet, bastant lògic, que s'ha observat, és que totes les empreses parlen només dels avantatges dels seus sistemes de tractament, en cap cas s'indica cap punt negatiu. Aquests avantatges es podrien resumir de la següent manera:

- Sistemes compactes
- Funcionament autònom
- Manteniment mínim

Per tant, s'ha volgut ser el més objectiu possible i donar la informació d'un altre manera. Aquesta informació també es podria resumir en tres punts claus:

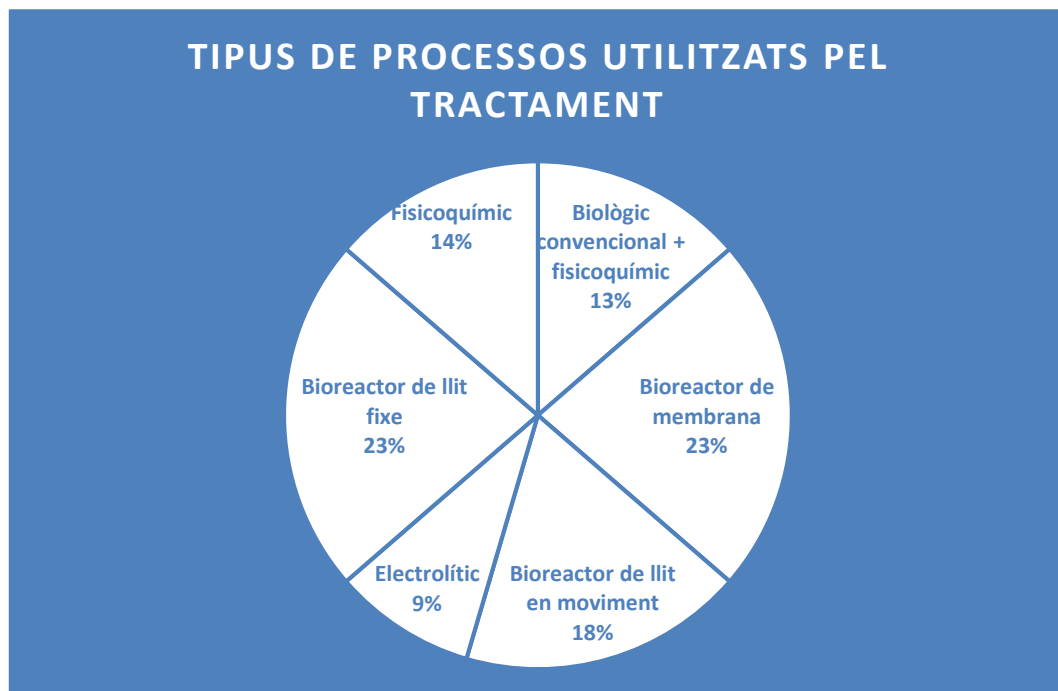
- Les característiques bàsiques dels models de cada sistema (capacitat de tractament diària, dimensions, pesos)
- El procés de tractament en cada cas.

- Resultats obtinguts de l'efluent (en els casos que el fabricant els tingui publicats o els hagi volgut proporcionar)

Amb aquests tres punts, es creu que hi ha informació bastant interessant perquè un pugui decidir per si mateix d'una forma objectiva quin sistema és millor tant comparativament amb els altres com si és adequat per un cas en concret.

Com ja es va indicar en la introducció, s'inclouen només sistemes de tractament que compleixin amb la normativa vigent: MEPC.227(64). A més a més, com l'actual treball està estretament relacionat amb la nova zona especial del mar Bàltic sota l'Annex IV, cas en el qual les plantes que s'instal·lin en vaixells de passatge han de complir amb uns requeriments addicionals, concretament la secció 4.2 de la MEPC.227(64), s'ha intentat trobar per cada tipus de planta si es compleix o no amb aquests requeriments addicionals. Cert és que alguns fabricants això no ho indiquen o no deixen del tot clar.

Per últim, passem a veure amb quina freqüència són utilitzats cada un dels tipus de processos de tractament en els diferents models de plantes que s'han anat descrivint en aquest capítol:



Il·lustració 68. Percentatge dels tipus de processos de tractament utilitzats en les plantes disponibles en el mercat - Font: Pròpia

Com es pot observar, les tecnologies de tractament que predominen en els sistemes disponibles en el mercat, són els bioreactors de membrana i els bioreactors de llit fixe. En segona posició es troben les tecnologies de bioreactor de llit en moviment. En tercera posició estarien els sistemes que fan servir un tractament fisicoquímic i els que fan servir un tractament biològic convencional en combinació amb operacions fisicoquímiques. Per últim, la tecnologia que menys es fa servir, és la del tractament electrolític.

Capítol 9. Comparativa entre els sistemes de tractament d'aigües residuals disponibles en el mercat

9.1 Introducció

En aquest capítol es pretén tornar a veure les característiques de cada una de les series i models que s'han recollit en el capítol anterior amb la intenció de destacar a partir de la informació vista fins ara els punts que es creu que són més forts i els que són més febles de cada sistema de tractament.

En la segona part d'aquest capítol, s'intentarà escollir uns models en concret que es creu que s'adaptarien millor per cada tipus de vaixells.

9.2 Homogeneïtzació de dades

Degut a que cada fabricant dona les dades sobre les capacitats de les seves plantes de formes diferents, com a pas previ a la comparativa entre sistemes, s'expressaran les capacitats de cada model en número de persones pel qual estaria pensada la planta. Alguns fabricants ja donen directament aquest número de persones, mentre que altres expressen les capacitats en metres cúbics o litres per dia (o hora). Les capacitats de tractament que estiguin expressades en metres cúbics o litres per dia es convertiran amb l'ajut de la següent taula que es pot trobar en la norma "Embarcacions i tecnologia marítima. Sistemes de desguàs en vaixells i estructures marines. Part 1: Disseny del sistema de desguàs sanitari (ISO 15749-1:2004)":

Tipus de vaixell	Quantitat mínima d'aigües residuals per persona i dia en litres			
	Plantes sense buit		Plantes amb buit	
	Aigües negres	Aigües negres i grises	Aigües negres	Aigües negres i grises
Vaixell de passatge	70	230	25	185
Vaixell d'alta mar exceptuant els de passatge	70	180	25	135
Els vaixells costers poden conservar els valors recomanats per les autoritats responsables				

Taula 28. Quantitat mínima d'aigües residuals per persona i dia en litres - Font: Norma ISO 15749-1:2004)

Per fer la conversió es decideix escollir l'opció segons la qual es generarien més aigües residuals per persona i dia. Aquesta opció, com es pot veure, correspon als vaixells de passatge amb plantes que funcionin per gravetat amb 230 litres d'aigües negres i grises per persona i dia.

9.3 Comparativa entre sistemes de tractament

Sèrie	Wärtsilä Super Trident – Small STC-13 Series		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
STC01-13	7	1.890 x 1.400 x 1.181	1.550
STC02-13	13	2.518 x 1.863 x 1.336	3.030
STC03-13	20	2.622 x 1.863 x 1.681	3.959
STC04-13	26	2.722 x 2.080 x 1.821	5.027
STC06-13	40	3.072 x 2.280 x 1.971	7.367
Tipus de tractament	Biològic convencional + fisicoquímic		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	No		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions reduïdes. • Pesos petits. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitats de tractament bastant petites. • No es poden instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. • Fase de desinfecció amb clor. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> • Models ideals per ser instal·lats en vaixells amb poques persones a bord. 		
Sèrie	Wärtsilä Super Trident – Sarge STC-14 Series		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
STC08-14	51	3.000 x 2.670 x 2.000	9.294
STC10-14	69	3.400 x 2.750 x 2.000	11.314
STC13-14	91	4.400 x 2.750 x 2.000	15.036
STC15-14	112	3.700 x 3.215 x 2.300	17.836
STC20-14	148	4.620 x 3.215 x 2.300	22.422
STC25-14	177	4.620 x 3.490 x 2.500	27.446
STC30-14	206	5.012 x 3.470 x 2.700	30.898
STC40-14	279	6.012 x 3.915 x 2.680	43.614
STC50-14	349	7.000 x 4.145 x 2.900	55.526
STC60-14	438	7.000 x 4.180 x 3.500	69.754
Tipus de tractament	Biològic convencional + fisicoquímic		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	No		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Rangs de capacitats bastant diversos. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> • No es poden instal·lar en vaixells de passatge en el mar Bàltic. • Pesos bastant grans. 		

	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions més grans en comparació amb altres models amb capacitats de tractament similars. • Fase de desinfecció amb clor. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> • Models ideals per ser instal·lats en vaixells amb un numero de persones petit-mitjà. 		
Sèrie	Super Trident – Retrofit RT Series		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
RTC20-14	14	2.320 x 1.678 x 1.398	3.335
RTC40-14	26	2.520 x 1.835 x 1.847	5.340
RTC60-14	41	3.024 x 2.035 x 1.937	7.690
RTC80-14	51	3.460 x 2.135 x 2.037	9.440
Tipus de tractament	Biològic convencional + fisicoquímic		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	No		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Disseny modular que facilita la instal·lació en vaixells ja existents. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> • No es poden instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. • Capacitats de tractament petites. • Fase de desinfecció amb clor. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> • Models ideals per ser instal·lats en vaixells ja existents i amb poques persones a bord. 		
Sèrie	Wärtsilä Membrane BioReactor		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
-	Fins 4.347	-	-
Tipus de tractament	Bioreactor de membrana		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	Sí		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitat de tractament molt gran. • Es pot instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. • Els sistemes amb bioreactor de membrana solen tenir una baixa producció de fangs. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Encara que no es coneixen les dades concretes, s'intueix que han de tenir dimensions i pesos molt grans. • Els sistemes amb bioreactors de membrana solen tenir un alt cost d'instal·lació i energètic. • Al cap d'un temps s'ha de substituir la membrana. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema ideal per creuers. 		
Sèrie	Rochem MBR		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
-	-	-	-

Tipus de tractament	Bioreactor de membrana		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	Sí		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Es pot instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. Utilització de llum ultraviolada en la fase de desinfecció. Els sistemes amb bioreactor de membrana solen tenir una baixa producció de fangs. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> Els sistemes amb bioreactors de membrana solen tenir un alt cost d'instal·lació i energètic. Al cap d'un temps s'ha de substituir la membrana. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Falta molta informació. Els resultats obtinguts de l'efluent són molt bons. 		
Sèrie	Evac EcoOcean		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
-	12.521	-	-
Tipus de tractament	Bioreactor de llit en moviment		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	Sí		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Es pot instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. Capacitat de tractament molt gran. Utilització de llum ultraviolada en la fase de desinfecció. Els sistemes de bioreactor de llit en moviment són més estables a les variacions de carrega hidràulica que els processos de tractament biològic convencional. Degut a que els cultius de microorganismes es troben sobre suports que es mouen lliurement en suspensió, s'aconsegueix que els microorganismes es distribueixin d'una millor forma, per tant s'aconsegueixen resultats de l'efluent més uniforme. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> Encara que no es coneixen les dades concretes, s'intueix que ha de tenir dimensions i pesos molt grans. Desgast del bioreactor més ràpid que en altres tipus de sistemes de tractament biològic. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Sistema pensat per creuers amb moltes persones. 		
Sèrie	Evac MBR		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
Evac MBR 2K	10	1.430 x 2.510 x 2.200	3.480
Evac MBR 4K	20	1.430 x 2.510 x 2.200	3.510
Evac MBR 7K	33	1.865 x 3.130 x 2.200	7.735
Evac MBR 15K	70	2.000 x 4.225 x 2.200	12.650
Evac MBR 22K	96	2.115 x 4.490 x 2.200	15.426
Evac MBR 30K	130	2.860 x 4.255 x 2.200	22.000
Evac MBR 45K	196	2.980 x 5.555 x 2.200	28.660

Evac MBR 70K	304	4.390 x 2.289 x 2.200	18.180
Evac MBR 95K	413	5.690 x 2.469 x 2.200	24.816
Evac MBR 120K	522	5.890 x 2.890 x 2.200	31.316
Evac MBR 145K	630	6.898 x 2.969 x 2.200	37.286
(Existeix la possibilitat de fabricar models més grans)	-	-	-
Tipus de tractament	Bioreactor de membrana		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	Sí, amb un mòdul opcional, excepte MBR 2K i MBR 4K		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Rangs de capacitats bastant diversos. • Es poden instal·lar en vaixells que naveguin pel mar Bàltic. • No es necessari que hi hagi cap fase de desinfecció addicional. • Els sistemes amb bioreactor de membrana solen tenir una baixa producció de fangs. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Els sistemes amb bioreactors de membrana solen tenir un alt cost d'instal·lació i energètic. • Al cap d'un temps s'ha de substituir la membrana. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> • Models ideals per vaixells amb un número petit o mitjà a de persones a bord. 		
Sèrie	Evac ORCA IV B		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
Evac ORCA IV B 15	6	1.013 x 912 x 1.637	550
Evac ORCA IV B 35	14	1.204 x 1.050 x 1.637	1.000
Evac ORCA IV B 50	20	1.178 x 1.148 x 1.919	1.250
Evac ORCA IV B 65	25	1.390 x 1.322 x 1.860	1.550
Evac ORCA IV B 100	39	1.818 x 1.105 x 1.785	2.330
Evac ORCA IV B 200	78	2.270 x 1.820 x 1.805	4.450
Evac ORCA IV B 300	117	3.400 x 1.830 x 1.818	6.700
Evac ORCA IV B 500	196	4.670 x 1.820 x 1.805	9.000
Evac ORCA IV B 600	235	5.870 x 1.820 x 1.805	11.100
Evac ORCA IV B 700	274	7.070 x 1.820 x 1.937	13.500
Tipus de tractament	Electrolític		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	Opcionalment amb un mòdul addicional		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Procés de tractament alternatiu e innovador. • No s'utilitzen microorganismes en el procés de tractament, per tant s'evita la necessitat de controlar sempre les condicions en les quals es troben i s'evita el risc a que hi hagi algun canvi brusc que desestabilitzi el sistema. • Els models més petits són els que tenen les dimensions més petites en comparació amb altres sèries. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Necessitat d'anar renovant periòdicament els productes químics de la cèl·lula electrolítica. • Desgast dels elèctrodes. 		

Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Aquestes plantes són una interessant alternativa, ja que a diferència d'altres tipus de plantes no es fa servir tractament biològic. Les capacitats d'aquest models són adequades per vaixells amb un número de persones a bord petit o petit-mitjà. 		
Sèrie	Evac EcoTreat		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
	8	2.210 x 1.320 x 1.570	-
	16	2.310 x 1.620 x 1.570	-
	24	2.910 x 1.620 x 1.570	-
	32	3.510 x 1.650 x 1.570	-
	40	3.310 x 1.650 x 1.860	-
	48	3.760 x 1.650 x 1.860	-
Tipus de tractament	Bioreactor de llit fixe		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	No		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Utilització de llum ultraviolada en la fase de desinfecció. Els sistemes amb bioreactor de llit fixe solen ser més econòmics. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> No es poden instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Són sistemes adequats per casos de que hi hagi poques persones a bord del vaixell. 		
Sèrie	Victor Marine's FBBR		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
	3	1.972 x 1.532 x 1.264	2600
	6	2.272 x 1.832 x 1.514	4000
	10	2.572 x 2.162 x 1.844	6600
Tipus de tractament	Bioreactor de llit fixe		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	No		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Sistemes bastant econòmics. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> No es poden instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. Capacitats de tractament molt limitat. Utilització de clor per desinfectar. Un dels desavantatges dels bioreactors de llit fixe és que l'efluent sol tenir un nivell més elevat de sòlids en suspensió en comparació amb altres tecnologies. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Sistemes adequats per necessitats de tractament molt petites, fins a 10 persones. S'ha de tenir en compte que ocupen bastant espai per la capacitat de tractament que ofereixen. 		
Sèrie	ACO Maripur NF		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)

ACO Maripur NF 25	25	2.190 x 1.560 x 1.800	-
ACO Maripur NF 50	50	2.650 x 2.630 x 2.160	-
ACO Maripur NF 75	75	2.590 x 2.350 x 2.440	-
ACO Maripur NF 100	100	3.610 x 2.600 x 2.280	-
ACO Maripur NF 150	150	4.600 x 2.430 x 2.320	-
ACO Maripur NF 200	200	4.840 x 2.270 x 2.730	-
ACO Maripur NF 250	250	6.100 x 2.310 x 2.230	-
Tipus de tractament	Bioreactor de membrana		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	Sí		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Es poden instal·lar en vaixells que naveguin pel mar Bàltic. Existeix la possibilitat de que el fabricant lliuri el sistema separat en de 2 a 5 mòduls per facilitar la seva instal·lació en vaixells existents. Els sistemes amb bioreactor de membrana solen tenir una baixa producció de fangs. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> Els sistemes amb bioreactors de membrana solen tenir un alt cost d'instal·lació i energètic. Al cap d'un temps s'ha de substituir la membrana. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Les capacitats d'aquest models són adequades per vaixells amb un número de persones a bord petit o petit-mitjà. Degut a que el fabricant pot lliurar el sistema dividit per mòduls, la instal·lació en vaixells existents és més fàcil. 		
Sèrie	ACO Clarimar MF		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
ACO Clarimar MF-0,5	5	1.445 x 1.130 x 1.607	-
ACO Clarimar MF-1	9	1.658 x 1.315 x 1.686	-
ACO Clarimar MF-2	15	1.958 x 1.405 x 1.746	-
ACO Clarimar MF-3	24	2.190 x 1.645 x 1.750	-
ACO Clarimar MF-4	31	2.400 x 1.901 x 1.743	-
ACO Clarimar MF-6	49	2.786 x 2.201 x 2.070	-
ACO Clarimar MF-8	62	3.070 x 2.351 x 2.077	-
ACO Clarimar MF-10	82	3.820 x 2.351 x 2.077	-
ACO Clarimar MF-12	97	2.805 x 4.893 x 2.070	-
ACO Clarimar MF-16	123	3.111 x 5.193 x 2.077	-
ACO Clarimar MF-20	164	3.855 x 5.193 x 2.077	-
Tipus de tractament	Bioreactor de membrana		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	No		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Els sistemes amb bioreactor de membrana solen tenir una baixa producció de fangs. Utilització de la llum ultraviolada per la fase de desinfecció. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> No es poden instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. Al cap d'un temps s'ha de substituir la membrana. Fins i tot el model més gran té una capacitat relativament petita. 		

Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Aquests models són adequats per vaixells amb bastant poques persones a bord. 		
Sèrie	De Nora OMNIPURE Series 64 G2		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
6405	21	2.134 x 940 x 2.001	568
6408	35	2.235 x 1.016 x 2.210	840
6413	57	2.337 x 1.092 x 2.134	1.120
6417	75	2.438 x 1.092 x 2.388	1.852
6424	105	2.591 x 1.270 x 2.413	2.322
6430	132	3.658 x 1.575 x 2.667	3.115
6440	176	3.658 x 1.676 x 2.159	3.729
6450	217	3.6558 x 1.727 x 2.261	4.366
Tipus de tractament	Electrolític		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	No		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Procés de tractament alternatiu e innovador. No s'utilitzen microorganismes en el procés de tractament, per tant s'evita la necessitat de controlar sempre les condicions en les quals es troben i s'evita el risc a que hi hagi algun canvi brusc que desestabilitzi el sistema. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> No es poden instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. Necessitat d'anar renovant periòdicament els productes químics de la cèl·lula electrolítica. Fins i tot el model més gran té una capacitat relativament petita. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> A l'igual que el sistema Evac ORCA IV B, es pot considerar aquests models com una alternativa que es diferencia bastant de lo que hi ha habitualment en el mercat. Els models que s'ofereixen són adequats per vaixells amb bastant poques persones a bord. 		
Sèrie	HAMMAN AG HL-CONT Compact 0125		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
HL-CONT Compact 0125	13	850 x 600 x 900	-
Tipus de tractament	Fisicoquímic		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	No		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Sistema amb dimensions molt reduïdes. Utilització de llum ultraviolada per la fase de desinfecció. Alternativa econòmica (segons el fabricant). No s'utilitzen microorganismes en el procés de tractament, per tant s'evita la necessitat de controlar sempre les condicions en les quals es troben i s'evita el risc a que hi hagi algun canvi brusc que desestabilitzi el sistema. 		

Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> Els sistemes que basen el tractament en un procés de flotació són més sensibles a les variacions de temperatura, concentracions de sòlids en suspensió i a les variacions hidràuliques. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Aquest sistema és una alternativa ideal per necessitats de tractament petites i en vaixells que hi hagi poc espai. 		
Sèrie	HAMMAN AG HL-CONT Plus		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
HL-CONT Plus 025	26	1.200 x 900 x 900	-
HL-CONT Plus 05	52	1.300 x 1.000 x 1.400	-
HL-CONT Plus 10	104	1.200 x 1.600 x 1.800	-
HL-CONT Plus 20	209	2.100 x 1.600 x 2.100	-
HL-CONT Plus 40	417	2.500 x 2.300 x 2.300	-
HL-CONT Plus 80	835	4.700 x 2.100 x 2.800	-
Tipus de tractament	Fisicoquímic		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	No		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Utilització de llum ultraviolada per la fase de desinfecció. No s'utilitzen microorganismes en el procés de tractament, per tant s'evita la necessitat de controlar sempre les condicions en les quals es troben i s'evita el risc a que hi hagi algun canvi brusc que desestabilitzi el sistema. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> No es poden instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. Els sistemes que basen el tractament en un procés de flotació són més sensibles a les variacions de temperatura, concentracions de sòlids en suspensió i a les variacions hidràuliques. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Les capacitats d'aquests models són adequades per vaixells amb un número de persones a bord petit o petit-mitjà. 		
Sèrie	HAMMAN AG HL-CONT Plus OceanCruise		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Àrea necessària per la instal·lació (m2)	Pes humit (kg)
HL-CONT Plus OceanCruise 025	26	3,1	-
HL-CONT Plus OceanCruise 05	52	4,5	-
HL-CONT Plus OceanCruise 10	104	9,1	-
HL-CONT Plus OceanCruise 20	209	12	-
HL-CONT Plus OceanCruise 40	417	21	-
HL-CONT Plus OceanCruise 80	835	39	-
(Existeix la possibilitat de fabricar models més grans)	-	-	-
Tipus de tractament	Bioreactor de llit en moviment		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	Sí		

Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Els sistemes de bioreactor de llit en moviment són més estables a les variacions de càrrega hidràulica que els processos de tractament biològic convencional. • Degut a que els cultius de microorganismes es troben sobre suports que es mouen lliurement en suspensió s'aconsegueix que els microorganismes es distribueixin d'una millor forma, per tant s'aconsegueixen resultats més uniformes de l'efluent. • Es poden instal·lar en vaixells que naveguin pel mar Bàltic. • Utilització de llum ultraviolada per la fase de desinfecció. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Desgast del bioreactor més ràpid que en altres tipus de sistemes de tractament biològic. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> • Les capacitats d'aquests models són adequades per vaixells amb un nombre de persones a bord petit o petit-mitjà. 		
Sèrie	Jets Ecomotive		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
1,1	8	2.238 x 2.065 x 1.941	-
2,22	16	2.238 x 2.065 x 1.941	-
3,33	24	2.238 x 2.065 x 1.941	-
4,44	32	2.782 x 2.345 x 1.941	-
5,55	40	2.782 x 2.452 x 1.941	-
6,66	48	2.782 x 2.558 x 1.941	-
7,77	56	3.043 x 2.675 x 2.259	-
8,88	64	3.043 x 2.760 x 2.259	-
9,99	72	3.043 x 2.867 x 2.259	-
13,32	97	3.660 x 3.227 x 2.259	-
16,65	121	3.661 x 3.367 x 2.259	-
22,2	161	4.700 x 3.863 x 2.952	-
33,3	241	5.472 x 4.512 x 2.953	-
44,4	322	6.251 x 4.968 x 2.913	-
Tipus de tractament	Bioreactor de llit en moviment		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	?		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Els sistemes de bioreactor de llit en moviment són més estables a les variacions de càrrega hidràulica que els processos de tractament biològic convencional. • Degut a que els cultius de microorganismes es troben sobre suports que es mouen lliurement en suspensió s'aconsegueix que els microorganismes es distribueixin d'una millor forma, per tant s'aconsegueixen resultats més uniformes de l'efluent. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> • Desgast del bioreactor més ràpid que en altres tipus de sistemes de tractament biològic. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> • Les capacitats d'aquests models són adequades per vaixells amb un nombre de persones a bord petit o petit-mitjà. 		
Sèrie	RWO Veolia CleanSewage Bio		

	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
Model			
CS Bio 01	-	-	-
CS Bio 02	9	2.095 x 1.250 x 1.480	2.923
CS Bio 03	14	2.608 x 1.346 x 1.612	4.134
CS Bio 04	19	2.559 x 1.646 x 1.618	5.293
CS Bio 05	28	2.781 x 1.656 x 2.058	7.407
CS Bio 06	38	3.365 x 1.656 x 2.058	9.278
CS Bio 07	47	3.365 x 1.986 x 2.058	11.719
Tipus de tractament	Bioreactor de llit en moviment		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	El fabricant no ho especifica.		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Els sistemes de bioreactor de llit en moviment són més estables a les variacions de càrrega hidràulica que els processos de tractament biològic convencional. Degut a que els cultius de microorganismes es troben sobre suports que es mouen lliurement en suspensió s'aconsegueix que els microorganismes es distribueixin d'una millor forma, per tant s'aconsegueixen resultats més uniformes de l'efluent. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> Desgast del bioreactor més ràpid que en altres tipus de sistemes de tractament biològic. Capacitats de tractament bastant petites. Utilització de clor per desinfectar. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Aquests models són adequats per vaixells amb bastant poques persones a bord. 		
Sèrie	Techni S.A. BIOCON		
	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
Model			
BIOCON I	34	1.450 x 850 x 1.150	-
BIOCON II	105	1.600 x 1.000 x 1.200	-
BIOCON III	190	1.800 x 1.100 x 1.600	-
MINI-BIOCON	11	855 x 600 x 720	-
Tipus de tractament	Físicoquímic		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	No		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> No s'utilitzen microorganismes en el procés de tractament, per tant s'evita la necessitat de controlar sempre les condicions en les quals es troben i s'evita el risc a que hi hagi algun canvi brusc que desestabilitzi el sistema. Dimensions bastant reduïdes en comparació amb altres sistemes. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> No es poden instal·lar en vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic. Utilització de clor en el procés de tractament. Pocs models del sistema. 		

Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Les capacitats d'aquests models són adequades per vaixells amb un número de persones a bord petit. 		
Sèrie	Scienco/Fast LX-Series		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions D x H (mm) (Bioreactor/Tanc desinfecció)	Pes humit (kg)
L-1X	6	711,2 x 965,2/533,4 x 609,6	408
L-2X	8	787,4 x 1066,8/533,4 x 609,6	499
L-3X	12	711,2 x 965,2/533,4 x 609,6	635
L-4X	17	787,2 x 1066,8/533,4 x 787,4	816
Tipus de tractament	Bioreactor de llit fixe		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	El fabricant no ho especifica.		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Els sistemes amb bioreactor de llit fixe solen ser més econòmics. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> Utilització de clor per la fase de desinfecció. Un dels desavantatges dels bioreactors de llit fixe és que l'efluent sol tenir un nivell més elevat de sòlids en suspensió en comparació amb altres tecnologies. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Aquests models són pensats per capacitats de tractament petites, fins a 17 persones. 		
Sèrie	Scienco/FAST M-Series		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions bioreactor L x W x H (mm)/Dimensions tanc desinfecció D x H (mm)	Pes humit (kg)
M-1	13	965,2 x 711,2 x 1.346,2/508 x 787,4	1.351
M-2	20	1.371,6 x 711,2 x 1.346,2/558,8 x 787,4	1.814
M-3	30	1.981,2 x 711,2 x 1.371,6/660,4 x 787,4	2.404
M-4	40	1.371,6 x 711,2 x 1.371,6/736,6 x 787,4	3.157
Tipus de tractament	Bioreactor de llit fixe		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	?		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Els sistemes amb bioreactor de llit fixe solen ser més econòmics. Els blocs dels sistemes de la sèrie M estan dissenyats per poder instal·lar-se de forma separada, fet útil quan els espais en el vaixells són limitats. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> Utilització de clor per desinfectar. Capacitat de tractament inferior a la sèrie germana MX. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Aquests models són adequats per vaixells amb poques persones i quan l'espai disponible és limitat i els diferents mòduls del sistema s'han d'instal·lar de forma separada. 		
Sèrie	Scienco/FAST MX-Series		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)

MX-1	14	1.524 x 711,2 x 1.854,2	1.633
MX-2	21	2.108,2 x 711,2 x 1.854,2	2.087
MX-3	31	2.108,2 x 711,2 x 2.159	2.404
MX-4	45	2.108,2 x 1.016 x 2.159	3.311
MX-5	70	2.717,8 x 1.016 x 2.159	4.309
Tipus de tractament	Bioreactor de llit fixe		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	El fabricant no ho especifica.		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Els sistemes amb bioreactor de llit fixe solen ser més econòmics. Capacitat de tractament superior que la sèrie germana M. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> Utilització de clor per desinfectar. Un dels desavantatge dels bioreactors de llit fixe és que l'efluent sol tenir un nivell més elevat de sòlids en suspensió en comparació amb altres tecnologies. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> La sèrie MX, és la mateixa que la sèrie M però amb la diferencia de que tots els components del sistema van soldats en un mateix bloc. Són sistemes amb poca capacitat de tractament, com es pot veure, fins 70 persones. 		
Sèrie	Scienco/FAST D-Series		
Model	Capacitat de tractament (Nr. màx. persones)	Dimensions L x W x H (mm)	Pes humit (kg)
D1	44	2.225 x 1.310,6 x 2.103,1	3.130
D2	64	2.438,4 x 1.524 x 2.133,6	3.946
D3	97	2.834,6 x 1.767,8 x 2.133,6	5.443
D4	146	3.291,8 x 2.103,1 x 2.225	7.711
D5	184	3.688 x 2.347 x 2.286	9.525
D6	258	4.236,7 x 2.712 x 2.316,5	13.154
D7	387	4.572 x 2.712,7 x 2.956,6	17.236
D8	607	5.516,88 x 3.322,32 x 3.139,44	25.855
D9	872	6.644,6 x 3.931,9 x 3.139,4	36.287
Tipus de tractament	Bioreactor de llit fixe		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))	El fabricant no ho especifica.		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Els sistemes amb bioreactor de llit fixe solen ser més econòmics. Rang de capacitats de tractament gran. 		
Desavantatges	<ul style="list-style-type: none"> Utilització de clor per desinfectar. Un dels desavantatge dels bioreactors de llit fixe és que l'efluent sol tenir un nivell més elevat de sòlids en suspensió en comparació amb altres tecnologies. 		
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Models ideals per vaixells amb un número petit o mitjà a de persones a bord. 		
Sèrie	Scienco/FAST D-Series (Dimensions alternativa modular)		
Model	Dimensions Bioreactor L x W x H (mm)	Dimensions mòdul maquinaria L x W x H (mm)	Dimensions tanc desinfecció L x W x H (mm)

D1	1.310,6 x 1.310,6 x 701	1.310,6 x 883,9 x 1.615,4	579,1 x 701 x 1.463
D2	1.524 x 1.524 x 701	1.524 x 883,9 x 1.615,4	701 x 701 x 1.463
D3	1.767,8 x 1.767,8 x 731,5	1.767,8 x 944,9 x 1.676,4	792,5 x 792,5 x 1.463
D4	2.103,1 x 2.103,1 x 731,5	2.103,1 x 1.066,8 x 1.6776,4	944,9 x 944,9 x 1.463
D5	2.347 x 2.347 x 762	2.347 x 1.188,7 x 1.676,4	1.005,8 x 1.005,8 x 1.463
D6	2.712,7 x 2.712,7 x 762	2.712,7 x 1.341,1 x 1.789,3	1.188,7 x 1.188,7 x 1.463
D7	3.322,3 x 3.322,3 x 1.036,3	2.712,7 x 1.554,5 x 1.798,3	1.432,6 x 1.432,6 x 1.463
D8	3.931,9 x 3.931,9 x 1.036,3	3.322,3 x 1.889,8 x 1.798,3	1.767,8 x 1.767,8 x 1.463
D9	1.310,6 x 1.310,6 x 701	3.931,9 x 2.225 x 1.798,3	2.133,6 x 2.072,6 x 1.463
Tipus de tractament	Bioreactor de llit fixe		
Compleix amb la secció 4.2 (MEPC.227(64))?	El fabricant no ho especifica.		
Avantatges	<ul style="list-style-type: none"> Al ser una alternativa modular, es facilita molt la instal·lació en vaixells ja existents. 		
Desavantatges			
Comentaris addicionals	<ul style="list-style-type: none"> Apart del avantatge de ser sistemes moduls, aquests models tenen les mateixes característiques que la sèrie D normal. 		

Taula 29. Resum comparatiu entre els sistemes recopilats en el capítol 7 - Font: Pròpia

9.4 Elecció de sistemes de tractament d'aigües residuals per diferents tipus de vaixells

En aquest apartat s'intentarà escollir uns models en concret, entre tots els sistemes vists, per uns determinats tipus de vaixells. Com es va veure en la il·lustració 4 (Capítol 2), els tipus de vaixells que més naveguen a través del àrea del mar Bàltic són: els de carrega general, els tipus tanc i els de passatge. Per lo tant, de forma genèrica, s'escolliran sistemes de tractament per aquests tipus de vaixells afegint a més a més una quarta categoria de iots entre 60 i 120 metres.

9.4.1 Vaixells de carrega general

Després de cercar quantes persones estan embarcades normalment en un vaixell de carrega general, s'ha decidit escollir una mitjana orientativa de 15 persones. Per tant s'haurà d'escollir un model dels que s'han vist anteriorment que sigui adequat per aquest número de persones. El vaixell encara que navegui en el mar Bàltic, al no ser de passatge, no està obligat a complir amb la secció 4.2 de la MEPC.227(64).

Els models que s'ha decidit escollir són els següents:

- Evac ORCA IV B 50, que tindria una capacitat de tractament màxima de 20 persones, assegurant d'aquesta manera un cert marge en cas de que hi naveguessin més de 15 persones en el vaixell. És un sistema amb unes dimensions relativament petites (1.178 x 1.148 x 1.919 mm) i un pes

humit de només 1.250 kg. A més a més, encara que no sigui obligatori per aquest tipus de vaixells tractar els nutrients presents en l'aigua residual, en cas de que es volgués fer, aquests sistemes tenen l'opció de ser instal·lats amb un mòdul addicional per eliminar-los.

- En el cas de que hi hagués dificultats per instal·lar el sistema Evac ORCA IV B 50 en un vaixell ja existent degut a les dimensions de les obertures disponibles, es podria optar per algunes alternatives modulars com un model de la sèrie Super Trident – Retrofit RT de Wärtsilä, en concret RTC40-14, que tindria una capacitat màxima de tractament de 26 persones. El punt negatiu d'aquest sistema és que encara que per separat els mòduls són molt més petits, un cop instal·lat el sistema, formen un bloc més gran que el model d'EVAC (2.520 x 1.835 x 1.847 mm) i pesa molt més (5.340 kg).
- Un altre alternativa per ser instal·lada en un vaixell que no s'estigui construint, sinó un ja existent, pot ser el model ACO Maripur NF 25, que té una capacitat de tractament per l'aigua residual generada per 25 persones. Les dimensions del sistema serien 2.190 x 1.560 x 1.800 mm i com es pot observar a l'igual que el model RTC40-14, és un sistema bastant més gran que el sistema de tractament que ofereix Evac. (El pes humit del sistema no està indicat per part del fabricant).

9.4.2 Vaixells tipus tanc

En el cas dels vaixells tipus tanc, s'ha decidit escollir una mitjana orientativa de 20 persones. Al ser un cas molt semblant als vaixells de carrega general, es decideix optar pels mateixos models amb l'única variació en el cas de la sèrie Orca IV B, que s'escolliria un model immediatament superior, Evac ORCA IV B 65, que té una capacitat màxima de tractament de 25 persones. Remarcant el fet que ja s'ha vist anteriorment, que la sèrie ORCA IV B no té rival en quant a dimensions i pes humit, sobretot en els models més petits. És per això que aquests models són tan interessants, apart de fer servir un tipus de tecnologia alternativa pel tractament (electrolítica) que pot posicionar-se com el gran rival de les tecnologies que fan servir processos de tractament biològics.

9.4.3 Vaixells de passatge

En el cas dels vaixells de passatge, s'ha decidit fer una divisió entre els creuers i els ferris. Característica imprescindible dels sistemes que es triïn és que compleixin amb la secció 4.2 de la MEPC.227(64).

Ferris

Al fer una petita recerca sobre la flota de diverses empreses de ferris de la zona del mar Bàltic com Wasaline, Polferries, Stena Line o St. Peter Line, s'ha vist que els vaixells més petits solen portar uns 500 passatgers i els més grans fins a 3000, passant per alguns amb una capacitat de 1.000 o 2.000 persones. A continuació els sistemes escollits per cada rang:

- 500 passatgers + 60 (tripulació): EVAC MBR 145K, s'ha escollit aquest model ja que compleix amb els requeriments de tractament de nutrients (instal·lant un mòdul addicional) i és el que té la capacitat de tractament més adequada per aquest cas, amb un màxim de 630 persones. Alternativament, es podria instal·lar un sistema Scienco/FAST D8 que té una capacitat molt similar de tractament, el màxim de persones sent 607. Els models d'aquesta sèrie compten amb el gran

avantatge de que cada model té una alternativa modular, que facilita la seva instal·lació en vaixells ja existents.

- 1.000 passatgers + 120 (tripulació): en aquest cas es decideix escollir un sistema HAMMAN AG HL-CONT Plus OceanCruise, ja que apart del model més gran del qual ens dona informació el fabricant (HAMMAN AG HL-CONT Plus OceanCruise 80 amb capacitat de tractament per 835 persones), en el catàleg s'especificava que es poden fabricar models més grans. Un altre alternativa seria instal·lar dos sistemes de tractament que treballin en paral·lel, fet que és bastant comú en el sector. Els dos sistemes podrien ser del model Scienco/FAST D8 que tindrien una capacitat de tractament total per a 1.214 persones com a màxim.
- 2.000 passatgers + 240 (tripulació): en aquest cas la solució seria instal·lar un Wärtsilä Membrane BioReactor. És un sistema de tractament que segons el fabricant es pot proporcionar en diferents configuracions, sent la més gran disponible amb una capacitat de tractament fins 4.347 persones.
- 3.000 passatgers + 300 (tripulació): per aquests ferris la solució seria la mateixa que s'ha vist en l'apartat anterior, instal·lar un Wärtsilä Membrane BioReactor.

Creuers

A l'igual que amb els ferris, s'ha fet una recerca dels creuers que solen fer viatges per la zona del mar Bàltic i s'ha observat que normalment les capacitats que tenen solen oscil·lar entre 2.000 i 4.000 passatgers. Com es pot observar són números similars als ferris més grans, per lo tant es pot dir que la solució per aquests casos segueix sent el mateix sistema: Wärtsilä Membrane BioReactor. En el cas de que hi hagués creuers amb més passatgers (més de 4.000), es podria fer servir la solució que s'ha vist anteriorment d'instal·lar dos sistemes en paral·lel. Per casos extrems, queda el sistema Evac EcoOcean, amb una capacitat de tractament d'aigües generades per fins a 12.521 persones.

9.4.4 lots entre 60 i 120 metres d'eslora

En aquest tipus de vaixell sol haver entre 12 i 40 passatgers. El número total de persones a bord incloent la tripulació sol ser el doble, entre 25 i 80 persones. Per tant s'escolliran 3 models diferents per les següents opcions:

- 30 persones - Evac ORCA IV B 100 amb una capacitat de tractament màxima per 39 persones. S'ha escollit aquesta opció per les mateixes raons que es van explicar anteriorment: pes i dimensions reduïdes. Al ser un vaixell de passatge, és necessari que es compleixi amb el tractament de nutrients i amb aquest sistema es pot fer.
- 55 persones – Evac MBR 15K amb una capacitat de tractament màxima per 70 persones. Aquest és el sistema que s'ha observat que té una capacitat de tractament més adequada a les necessitats del cas i que a més a més deixaria un cert marge. Apart d'això, compleix amb els requeriment de la secció 4.2, que és obligatòria per aquest tipus de lots, ja que contarien com vaixells de passatge.
- 80 persones – Evac MBR 22K amb una capacitat de tractament màxima per 96 persones. S'ha escollit aquest model ja que és el que té la capacitat de tractament més semblant a les necessitats d'aquest cas i perquè compleix amb la secció addicional de tractament de nutrients.

9.5 Conclusions capítol

En aquest capítol s'ha pogut veure de forma resumida, millor ordenada i més clara, les característiques dels diferents sistemes recopilats en el capítol anterior per tal de facilitar la comparativa i l'elecció d'un sistema per un determinat cas. A més a més, s'han vist alguns dels avantatges i desavantatges de cadascuna de les series de models que ofereixen els fabricants i dels tipus de tractament d'aquelles plantes.

Per últim, s'ha intentat escollir en funció del número de persones a bord de determinats vaixells, els sistemes que tinguin una capacitat més adequada per cada un dels casos.

Capítol 10. Costos

10.1 Introducció

En aquest capítol es parlarà sobre els preus dels sistemes de tractament d'aigües residuals per vaixells i sobre el preu que tindria el treball en el suposat cas de que algú el demanés a una consultoria especialitzada.

10.2 Preus dels sistemes de tractament d'aigües residuals per vaixells

Degut al fet de que cap empresa publica els preus dels seus sistemes, s'ha contactat amb cada una d'elles per intentar aconseguir per lo menys uns costos aproximats. Malauradament, com ja es va comentar en el capítol 7, només dues empreses van respondre. En concret una de les empreses ha sigut *Victor Marine* i la informació que han proporcionat és la següent:

Model Nr.	Capacitat de tractament (m3/dia)	Preu (£)
FBBR 15	3	12.650
FBBR 30	6	15.525
FBBR 50	10	19.825

Taula 30. Preus plantes de tractament de la empresa Victor Marine - Font: Victor Marine

Com es pot observar, són plantes amb una capacitat de tractament bastant petita i en quant als preus, encara que no hi suficient informació per poder comparar-los, semblen bastant raonables.

L'altre empresa que va respondre, va ser EVAC, encara que no va indicar cap preu en concret. El que han comentat és que el cost d'una planta depèn de la seva capacitat de tractament i que aquest pot variar des de desenes a centenars de milers d'euros.

10.3 Cost elaboració del TFG

Per estimar quin seria el preu d'aquest treball si es demanés a una consultoria tècnica, es farà primer un compte total de les hores invertides. A partir d'aquesta suma i en funció del preu-hora s'estimarà el cost final.

Les diferents tasques realitzades i el temps invertit són les següents:

Tasca	Hores invertides
Definició d'objectius, realització d'un guió previ i recerca inicial	30
Definició d'un guió consolidat i objectius de cada capítol en concret	40
Recerca d'informació de forma global	150
Selecció de la informació més adequada	50
Contacte amb empreses	20

Consultes amb professionals especialitzats/tutories	80
Redacció d'un esborrany inicial	90
Recerca d'informació addicional	60
Redactat de l'informe definitiu	180
Revisió final	40
<i>Temps total</i>	740

Taula 31. Temps invertit per elaborar el treball - Font: Pròpia

Els preus-hora de les consultories tècniques, segons fonts consultades, solen oscil·lar entre 30 i 60 euros. Es decideix agafar un preu mitjà de 45 euros per hora. Per lo tant el cost total per l'elaboració d'aquest informe seria d'uns 33.300 euros.

10.4 Conclusions capítol

Com s'ha vist, la majoria d'empreses que fabriquen i venen els diferents sistemes de tractament d'aigües residuals, no han volgut proporcionar informació sobre els costos dels seus sistemes, excepte Victor Marine. Per tant, amb l'ajut d'aquests preus i el comentari per part de la empresa EVAC, es pot generar una petita idea sobre els costos relacionats amb aquests sistemes però no d'una forma exacte.

Per l'altre banda, s'ha pogut veure quant valdria un informe d'aquest tipus en una consultoria real.

Conclusions

Com es va explicar en la introducció, l'objectiu principal d'aquest treball consisteix en poder donar una solució al problema de la contaminació per aigües brutes que es generen en els vaixells. Relacionat amb aquest tema, tal com s'ha pogut veure, l'Organització Marítima Internacional amb l'ajut del seu comitè de protecció del medi marí (MEPC), ja va anar prenent diferents decisions en els últims anys i modificant la normativa existent per tal d'actualitzar els requeriments per la descarrega d'aigües residuals generades en els vaixells a la situació actual. Aquests canvis s'han anat fent a través de l'actualització de l'Annex IV del conveni MARPOL 73/78 que conté les normes per prevenir la contaminació per aigües brutes dels vaixells i l'adopció de les resolucions MEPC.

Entre els canvis més innovadors, es troba la designació de la primera zona especial sota l'Annex IV, la zona del mar Bàltic. Aquesta designació es va produir l'any 2011 a través de la resolució MEPC.200(62). Amb aquest canvi es pretén protegir una zona especialment sensible de la contaminació ocasionada per les aigües residuals provinents dels vaixells. Aquest canvi afecta concretament els vaixells de passatge que naveguin per aquesta zona, ja que són els vaixells amb més persones a bord, per tant els que generen quantitats d'aigües residuals més grans.

Per tal d'entendre el perquè d'aquesta decisió, perquè el mar Bàltic s'ha convertit en una zona protegida i perquè és una zona sensible, es va fer una recerca per tal de poder entendre quina és la situació ambiental. Com es va poder observar, l'estat del mar Bàltic està molt afectat per la contaminació, sent un dels problemes més importants l'eutrofització. Els valors líndar de nutrients durant els últims anys sempre han estat per sobre dels valors recomanats en casi tota la zona. Apart d'aquest problema, també es va poder observar que existeix una gran presència d'altre tipus de contaminants.

En quant a la contaminació per aigües residuals originades pels vaixells, encara que tenen una contribució molt petita, en vista de la situació ambiental tan negativa, es pot entendre perfectament la decisió d'intentar protegir aquesta zona, no es podia deixar aquesta font sense una solució.

Apart d'aquesta designació, hi va haver la necessitat de fer una guia actualitzada dels estàndards que han de complir les plantes de tractament per vaixells. És va decidir substituir l'anterior guia, que era la MEPC.159(55), per la nova resolució MEPC.227(64) l'any 2012. En aquesta nova resolució es poden trobar les indicacions que dona l'Organització Marítima Internacional que ha de complir una planta per tal de que pugui ser certificada i instal·lada en un vaixell. Apart dels requeriments que ha de complir l'efluent després de ser tractat, es va fer un canvi molt important, la introducció del coeficient de dilució per tal d'evitar que les plantes de tractament basin el seu procés en la dilució.

Els requeriments de la MEPC.227(64) no són només pels vaixells de passatge que naveguin pel mar Bàltic, sinó per tots els vaixells que instal·lin una planta de tractament d'aigües residuals a partir del gener de l'any 2016. Aquest fet ens dona a entendre que hi ha un control global en relació a aquest tema i es vol que la contaminació per aigües residuals per part dels vaixells no sigui un problema en cap part del món, encara que el gran canvi en quant a la normativa s'hagi produït en la zona del mar Bàltic. També relacionat amb la MEPC.227(64), un altre fet que es va comentar i que és important, és que pels vaixells de passatge

que naveguin per la zona especial, hi ha uns requeriments addicionals que ha de complir l'efluent tractat. Aquesta secció és la 4.2 i indica quins han de ser els nivells de nutrients en l'efluent.

Seguint amb l'objectiu d'aquest treball, apart d'estudiar la normativa, es va creure convenient estudiar prèviament quines són les característiques de l'aigua residual i quines són les operacions de tractament existents. És molt important que l'aigua sigui tractada d'una forma adequada i responsable. En cas contrari es podrien provocar grans perjudicis tant pels humans com pel medi ambient. També es van veure quins són els contaminants que poden estar presents en l'aigua residual.

En quant als processos i operacions de tractament, es van classificar en tres grans categories: operacions físiques unitàries, processos químics unitaris i processos biològics unitaris. Cada un dels processos de les tres categories es va descriure per tal de poder entendre el funcionament i en què consisteix. Això va servir posteriorment per facilitar l'enteniment del funcionament dels sistemes de tractament per vaixells disponibles en el mercat. Apart del tractament de l'aigua residual, es va parlar breument sobre el perquè s'han de tractar els fangs i quines són les etapes per fer-ho.

Com a últim pas previ de passar a veure les opcions que s'ofereixen en el mercat, és va intentar trobar quines són les tecnologies de tractament utilitzades en els vaixells. Degut a les condicions en les quals han de treballar aquests sistemes i l'espai disponible, hi ha bastanta diferència amb les plantes que es fan servir a terra.

Fet tot aquest treball previ, es va començar amb la recerca dels sistemes de tractament d'aigües residuals per vaixells disponibles en el mercat. Durant aquest procés, es va intentar contactar amb les diferents empreses per tal d'obtenir més informació sobre els seus productes. Els resultats no van ser els esperats, obtenint resposta per part de només dues empreses. Encara així es va aconseguir trobar informació bastant interessant a través de la recerca per la xarxa.

Certa part d'aquesta informació, com els avantatges dels diferents models que comenten les empreses, es va considerar subjectiva. Un fet bastant lògic al tenir en compte que una empresa mai parlarà malament dels seus productes. Per intentar evitar això, es va intentar donar la informació que es va creure que pot ser més útil per tal de poder escollir posteriorment un sistema i que en la mesura de lo possible no hi hagués influència per part del que comenta el mateix fabricant. La informació que es va donar es pot resumir de la següent manera:

- Les característiques principals dels models de cada sistema (capacitat de tractament, dimensions, pesos)
- El procés de tractament que fa el sistema.
- Resultats obtinguts de l'efluent (en els casos que el fabricant els tingui publicats o els hagi volgut proporcionar).

En la recopilació de sistemes de tractament que es va fer, es van incloure només els models que compleixin amb la normativa vigent: MEPC.227(64). Un altre característica important que es va intentar buscar per la majoria de sistemes, és el de si compleixen amb els requeriments addicionals de la secció 4.2 de la resolució, per poder saber si es podrien instal·lar en un vaixell de passatge que navegui per la zona del mar Bàltic.

Un cop es van descriure els sistemes trobats i donades les seves característiques, es va creure interessant veure amb quina freqüència són utilitzats cada un dels tipus de processos de tractament en els diferents models de plantes. En els resultats obtinguts, es va poder observar que les tecnologies de tractament que predominen en els sistemes disponibles en el mercat són els bioreactors de membrana i els bioreactors de llit fixe. En segona posició es va observar que estan els bioreactors de llit en moviment. En tercera posició estan els sistemes que fan servir un tractament fisicoquímic i els sistemes que fan servir un tractament biològic convencional en combinació amb operacions fisicoquímiques. Per últim, la tecnologia que menys es fa servir és la del tractament electrolític.

Tenint tota la informació sobre els diferents models, es va decidir donar un pas més i seleccionar i ordenar de forma més clara les característiques més importants, amb l'objectiu de facilitar la comparativa i l'elecció d'un sistema per un determinat cas. També es van esmentar alguns avantatges i desavantatges de cadascuna de les series de plantes i dels tipus de tractament que fan servir.

Fet aquest resum, es va voler fer uns exemples genèrics d'escollir uns models de sistemes determinats pels grups de vaixells que naveguen habitualment a través del mar Bàltic. Aquesta elecció es va fer sobretot tenint en compte la quantitat de persones que hi hagi en un determinat tipus de vaixell i les característiques dels models de sistemes de tractament disponibles.

Per últim, es va voler parlar sobre la informació dels costos. Com ja s'ha explicat, es va contactar amb les empreses i també es va preguntar sobre els preus dels seus sistemes. Cap empresa va voler proporcionar informació concreta excepte Victor Marine. L'altre empresa que va respondre és EVAC, comentant que el preu d'un sistema varia en funció de la seva capacitat de tractament i aquests preus poden anar des de desenes de milers fins a centenars de milers. La informació és bastant escassa però serveix per fer-se una petita idea de quant valdria un sistema. Un altre cost que es va estimar és el de quant valdria aquest treball si es demanés a una consultoria especialitzada.

En forma de resum, es creu que es va aconseguir donar resposta a l'objectiu que es va proposar inicialment a través de les següents accions principals:

- Es va aportar informació necessària per poder entendre els processos de tractament de les plantes de tractament d'aigües residuals.
- Es van esmentar els principals organismes que s'encarreguen de regular la normativa marítima i es van explicar els requeriments exigits.
- Es van identificar les principals empreses del mercat que fabriquen i subministren plantes de tractament d'aigües residuals per vaixells.
- Es van seleccionar amb bon criteri les plantes entre totes les que ofereixen els fabricants.
- Es va explicar el funcionament de les diferents plantes seleccionades i es van aportar les característiques més importants.
- Es va fer una estimació econòmica.

Bibliografia

Llibres

- [1] Paul N. Cheremisinoff. *Handbook of water and wastewater treatment Technology*. Boston : Butterworth-Heinemann, 2002 (Última consulta: 02.06.2019)
- [2] Metcalf & Eddy. *Ingeniería De Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido Y Reutilización*. McGraw-Hill, 1995 (Última consulta: 15.05.2019)
- [3] Ramalho R. S. *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverté, 1996 (Última consulta: 11.05.2019)
- [4] Ferrer Polo José, Aurora Seco Torrecillas. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Valencia: Editorial de la UPV, 2003 (Última consulta: 04.03.2019)
- [5] Aurelio Hernández Muñoz. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001 (Última consulta: 17.03.2019)

Informes, treballs, articles, presentacions i pàgines web

- [6] Tribunal de Cuentas Europeo. *Lucha contra la eutrofización en el mar Báltico: se requieren medidas adicionales y más eficaces*. Luxemburgo, 2016 (Última consulta 15.02.2019)
- [7] Hanna-Kaisa Huhta, Jorma Rytkönen & Jukka Sassi. *Estimated nutrient load from waste waters originating from ships in the Baltic Sea area*. Espoo, 2007 (Última consulta 19.02.2019)
- [8] Baltic Marine Environment Protection Commission. *Sources and pathways of nutrients to the Baltic Sea. Helsinki, 2018* (Última consulta 21.02.2019)
- [9] Baltic Marine Environment Protection Commission. *Baltic Sea Special Area under MARPOL Annex IV*. Laulasmaa, 2016 (Última consulta 21.02.2019)
- [10] *Race for the Baltic*: <https://www.raceforthebaltic.com/baltic-sea> (Última consulta 13.02.2019)
- [11] Baltic LINES. *SHIPPING IN THE BALTIC SEA. Past, present and future developments relevant for Maritime Spatial Planning*. Hamburg, 2016 (Última consulta 22.02.2019)
- [12] Joan Baldillou. *EUTROFITZACIÓ: Quan els nutrients són un problema*. 2013 (Última consulta 25.02.2019)
- [13] José Maria Gavira Vallejo. *EUTROFIZACIÓN: CAUSAS Y EFECTOS*. 2012 (Última consulta 27.02.2019)
- [14] Port of Trelleborg and Port of Helsinki. *CLEANSHIP TASK 4.5*. 2011 (Última consulta 02.03.2019)
- [15] HELCOM. *Metals HELCOM core indicator*. Helsinki, 2018 (Última consulta 05.03.2019)
- [16] HELCOM. *Operational oil spills from ships HELCOM core indicator*. Helsinki, 2018 (Última consulta 06.03.2019)
- [17] HELCOM. *Perfluorooctane sulphonate (PFOS) HELCOM core indicator*. Helsinki, 2018 (Última consulta 12-03.2019)
- [18] HELCOM. *Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) HELCOM core indicator*. Helsinki, 2018 (Última consulta 15.03.2019)
- [19] HELCOM. *Total phosphorus (TP) HELCOM core indicator*. Helsinki, 2018 (Última consulta 15.03.2019)
- [20] HELCOM. *Total nitrogen (TN) HELCOM core indicator*. Helsinki, 2018 (Última consulta 18.03.2019)
- [21] HELCOM. *Radioactive substances HELCOM core indicator*. Helsinki, 2018 (Última consulta 19.03.2019)
- [22] HELCOM. *Baltic Sea Action Plan*. EU, 2007 (Última consulta 24.03.2019)

- [23] Pàgina web Swedish Water House: <http://www.swedishwaterhouse.se/en/resources/> (Última consulta 28.03.2019)
- [24] Roslynn Brain, Jeremy Lynch, Kelly Kopp. *Defining Terms: Greywater, Blackwater and Clearwater*. Utah State University, 2015 (Última consulta 31.03.2019)
- [25] Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua. *Aula Virtual del Agua* (<http://aulacidta1.usal.es/>). Universidad de Salamanca (Última consulta 02.04.2019)
- [26] OpenCourseWare. *Operaciones básicas. Tema 6. Filtración*. (http://ocwus.us.es/arquitectura-e-ingenieria/operaciones-basicas/contenidos1/tema6/pagina_08.htm/index.htm). Universidad de Sevilla (Última consulta 05.04.2019)
- [27] Pedro A. Castillo de Castro, Iñaki Tejero Monzón. *Consideraciones de diseño para la eliminación biológica de fósforo empleando procesos biopelícula*. 1999 (Última consulta 06.04.2019)
- [28] EL AGUA POTABLE. *Tratamiento de lodos*. (http://www.elaguapotable.com/tratamiento_de_lodos.htm) (Última consulta 10.04.2019)
- [29] MEPC. *Resolució MEPC.200(62)*. 2011 (Última consulta 14.04.2019)
- [30] MEPC. *Resolució MEPC.227(64)*. 2012 (Última consulta 19.04.2019)
- [31] MEPC. *Resolució MEPC.275.(69)*. 2016 (Última consulta 21.04.2019)
- [32] ACO Marine. WHITE PAPER. *Understanding Resolution MEPC.227(64)*. 2014 (Última consulta 23.04.2019)
- [33] Santiago Ordás Jiménez. *Environmental protection – MARPOL CONVENTION*. (Última consulta 25.04.2019)
- [34] Pàgina web oficial de la IMO: <http://www.imo.org/> (Última consulta 25.04.2019)
- [35] Infoenviro. *Procesos avanzados de biomasa fija sobre lecho móvil*. 2009 (Última consulta 27.04.2019)
- [36] Ana Justo Llopis. *Advanced technologies applied to wastewater treatment plant effluents*. Universitat de Barcelona, 2015 (Última consulta 30.04.2019)
- [37] David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center. *Shipboard sewage treatment system for great lakes vessels*. 1975 (Última consulta 03.05.2019)
- [38] Margarita González Benítez, Carlos Sierra Garriga, Ramón Guardino Ferré. *Bioreactores de membrana (MBR)*. Universitat Politècnica de Catalunya. (Última consulta 04.05.2019)
- [39] Delft for European Maritime Safety Agency. *The Management of Ship-Generated Waste On-board Ships*. 2017 (Última consulta 06.05.2019)
- [40] Universidad de Castilla - La Mancha. *Estudio del proceso de Coagulación - Floculación*. Castilla - La Mancha (Última consulta 14.05.2019)
- [41] José Peralta Donate, Luis Miguel Varea Dorado. *Digestión Aerobia* (Última consulta 15.05.2019)
- [42] Hatenboer-Water. *Report "Sewage treatment plants"*. Rotterdam, 2012 (Última consulta 17.05.2019)
- [43] Isaías Vicente-Cera, Javier Moreno-Andrés, José Ángel Llamas, Joaquín Monedero, Francisco Casanueva, Asunción Acevedo, Juan Antonio López Ramírez, Enrique Nebot. *Proyecto AVANTE: Gestión Avanzada e Integrada del Agua en Buques Crucero*. Universidad de Cádiz, 2015 (Última consulta 18.05.2019)
- [44] *Embarcaciones y tecnología marina. Sistemas de desagüe en barcos y estructuras marinas. Parte 1: Diseño del sistema de desagüe sanitario (ISO 15749-1:2004)* (Última consulta 19.05.2019)
- [45] Port of San Francisco. Cruise Terminal Environmental Advisory Committee. *Evaluation of Shoreside Treatment of Wastewater from Cruise Ships*. San Francisco, 2005 (Última consulta 22.05.2019)
- [46] Žarko Koboević, Željko Kurtela, *Comparison of marine sewage treatment systems*. University of Dubrovnik (Última consulta 24.05.2019)
- [47] Marine Insight. *Sewage Treatment Plant on Ships*. (<https://www.marineinsight.com/tech/sewage-treatment-plant/>) (Última consulta 27.05.2019)

- [48] *Marine Engineering. Sewage Treatment.* (<http://www.marineengineering.org.uk/page54.html>) (Última consulta 29.05.2019)
- [49] *Pàgina web Wärtsilä:* <https://www.wartsila.com/marine/build/waste-treatment/waste-water-processing/sewage-treatment-plants> (Última consulta 01.06.2019)
- [50] *Pàgina web Rochem:* <http://www.rts-rochem.de/our-products/water-treatment-systems/sewage-treatment-systems/rochem-sewage-system/> (Última consulta 04.06.2019)
- [51] *Pàgina web EVAC:* <https://evac.com/solutions/wastewatertreatment/> (Última consulta 07.06.2019)
- [52] *Pàgina web Victor Marine:* <https://Victormarine.com/products/sewage-treatment-plants/> (Última consulta 10.06.2019)
- [53] *Pàgina web ACO Marine:* <https://www.acomarine.com/products/wastewater-treatment-plants/> (Última consulta 12.06.2019)
- [54] *Pàgina web De Nora:* <http://www.denora.com/products/marine-sewage-treatment.html> (Última consulta 12.06.2019)
- [55] *Pàgina web HAMMAN AG:* <http://www.hamannag.com/sewage-treatment-plants/> (Última consulta 15.06.2019)
- [56] *Pàgina web Jets:* <https://jetsgroup.com/wastewater-treatment/sewage-treatment/principle> (Última consulta 18.06.2019)
- [57] *Pàgina web Techni S.A.:* <https://www.techni-sa.com/> (Última consulta 18.06.2019)
- [58] *Pàgina web Scienco/FAST:* <http://www.sciencofast.com/> (Última consulta 21.06.2019)
- [59] *Pàgina web Nautic EXPO:* <http://www.nauticexpo.com/> (Última consulta 22.06.2019)

Annex 1. Resolució IMO MEPC.200(62)

Resolutions from the sixty-second session of the Marine Environment Protection Committee in July 2011

RESOLUTION MEPC.200(62)

Adopted on 15 July 2011 AMENDMENTS TO THE ANNEX OF THE PROTOCOL OF 1978
RELATING TO THE

**INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE PREVENTION OF POLLUTION FROM SHIPS, 1973
(Special Area Provisions and the Designation of the Baltic Sea as a Special Area under
MARPOL Annex IV)**

THE MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE,

RECALLING Article 38(a) of the Convention on the International Maritime Organization concerning the functions of the Marine Environment Protection Committee (the Committee) conferred upon it by international conventions for the prevention and control of marine pollution,

NOTING article 16 of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 (hereinafter referred to as the "1973 Convention") and article VI of the Protocol of 1978 relating to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973 (hereinafter referred to as the "1978 Protocol") which together specify the amendment procedure of the 1978 Protocol and confer upon the appropriate body of the Organization the function of considering and adopting amendments to the 1973 Convention, as modified by the 1978 Protocol (MARPOL 73/78),

HAVING CONSIDERED draft amendments to Annex IV of MARPOL 73/78,

ADOPTS, in accordance with article 16(2)(d) of the 1973 Convention, the amendments to Annex IV of MARPOL 73/78, the text of which is set out at annex to the present resolution;

DETERMINES, in accordance with article 16(2)(f)(iii) of the 1973 Convention, that the amendments shall be deemed to have been accepted on 1 July 2012 unless, prior to that date, not less than one third of the Parties or Parties the combined merchant fleets of which constitute not less than 50 per cent of the gross tonnage of the world's merchant fleet, have communicated to the Organization their objection to the amendments;

INVITES the Parties to note that, in accordance with article 16(2)(g)(ii) of the 1973 Convention, the said amendments shall enter into force on 1 January 2013 upon their acceptance in accordance with paragraph 2 above;

REQUESTS the Secretary-General, in conformity with article 16(2)(e) of the 1973 Convention, to transmit to all Parties to MARPOL 73/78 certified copies of the present resolution and the text of the amendments contained in the Annex;

REQUESTS FURTHER the Secretary-General to transmit to the Members of the Organization which are not Parties to MARPOL 73/78 copies of the present resolution and its Annex.

ANNEX

AMENDMENTS TO MARPOL ANNEX IV

New paragraphs 6, 9, and 10 are added to regulation 1 and the existing paragraphs are renumbered accordingly:

"6 Special area means a sea area where for recognized technical reasons in relation to its oceanographical and ecological condition and to the particular character of its traffic the adoption of special mandatory methods for the prevention of sea pollution by sewage is required.

The special areas are:

- .1 the Baltic Sea area as defined in regulation 1.11.2 of Annex I; and
- .2 any other sea area designated by the Organization in accordance with criteria and procedures for designation of special areas with respect to prevention of pollution by sewage from ships.

A passenger means every person other than:

- .1 the master and the members of the crew or other persons employed or engaged in any capacity on board a ship on the business of that ship; and
- .2 a child under one year of age.

A passenger ship means a ship which carries more than 12 passengers.

For the application of regulation 11.3, a new passenger ship is a passenger ship:

- .1 for which the building contract is placed, or in the absence of a building contract, the keel of which is laid, or which is in a similar stage of construction, on or after 1 January 2016; or
- .2 the delivery of which is two years or more after 1 January 2016.

An existing passenger ship is a passenger ship which is not a new passenger ship.

New paragraph 2 is added to regulation 9:

"2 By derogation from paragraph 1, every passenger ship which, in accordance with regulation 2, is required to comply with the provisions of this Annex, and for which regulation 11.3 applies while in a special area, shall be equipped with one of the following sewage systems:

.1 a sewage treatment plant which shall be of a type approved by the Administration, taking into account the standards and test methods developed by the Organization, or

.2 a holding tank of the capacity to the satisfaction of the Administration for the retention of all sewage, having regard to the operation of the ship, the number of persons on board and other relevant factors. The holding tank shall be constructed to the satisfaction of the

Administration and shall have a means to indicate visually the amount of its contents."

Regulation 11 is replaced by the following:

Regulation 11

Discharge of sewage

"A Discharge of sewage from ships other than passenger ships in all areas and discharge of sewage from passenger ships outside special areas

Subject to the provisions of regulation 3 of this Annex, the discharge of sewage into the sea is prohibited, except when:

.1 the ship is discharging comminuted and disinfected sewage using a system approved by the Administration in accordance with regulation 9.1.2 of this Annex at a distance of more than 3 nautical miles from the nearest land, or sewage which is not comminuted or disinfected at a distance of more than 12 nautical miles from the nearest land, provided that, in any case, the sewage that has been stored in holding tanks, or sewage originating from spaces containing living animals, shall not be discharged instantaneously but at a moderate rate when the ship is en route and proceeding at not less than 4 knots; the rate of discharge shall be approved by the Administration based upon standards developed by the Organization; or

.2 the ship has in operation an approved sewage treatment plant which has been certified by the Administration to meet the operational requirements referred to in regulation 9.1.1 of this Annex, and the effluent shall not produce visible floating solids nor cause discoloration of the surrounding water.

The provisions of paragraph 1 shall not apply to ships operating in the waters under the jurisdiction of a State and visiting ships from other States while they are in these waters and are discharging sewage in accordance with such less stringent requirements as may be imposed by such State.

B Discharge of sewage from passenger ships within a special area

Subject to the provisions of regulation 3 of this Annex, the discharge of sewage from a passenger ship within a special area shall be prohibited:

.1 for new passenger ships on, or after 1 January 2016, subject to paragraph 2 of regulation 13; and

.2 for existing passenger ships on, or after 1 January 2018, subject to paragraph 2 of regulation 13,

except when the following conditions are satisfied:

the ship has in operation an approved sewage treatment plant which has been certified by the Administration to meet the operational requirements referred to in regulation 9.2.1 of this Annex, and the effluent shall not produce visible floating solids nor cause discoloration of the surrounding water.

C General requirements

When the sewage is mixed with wastes or waste water covered by other Annexes of the present Convention, the requirements of those Annexes shall be complied with in addition to the requirements of this Annex."

4 New regulation 13 is added as follows and the existing regulation 13 is renumbered as regulation 14:

"13 Reception facilities for passenger ships in Special Areas

Each Party, the coastline of which borders a special area, undertakes to ensure that:

.1 facilities for the reception of sewage are provided in ports and terminals which are in a special area and which are used by passenger ships;

.2 the facilities are adequate to meet the needs of those passenger ships; and

.3 the facilities are operated so as not to cause undue delay to those passenger ships.

The Government of each Party concerned shall notify the Organization of the measures taken pursuant to paragraph 1 of this regulation. Upon receipt of sufficient notifications in accordance with paragraph 1 of this regulation, the Organization shall establish a date from which the requirements of regulation 11.3 in respect of the area in question shall take effect. The Organization shall notify all Parties of the date so established no less than 12 months in advance of that date. Until the date so established, ships while navigating in the special area shall comply with the requirements of regulation 11.1 of this Annex."

AMENDMENTS TO THE FORM OF INTERNATIONAL SEWAGE POLLUTION PREVENTION CERTIFICATE

The following text is added under the heading "Particulars of ship":

Type of ship for the application of regulation 11.3: *

* Delete as appropriate.

New/Existing passenger ship

Ship other than a passenger ship

Paragraph * 1.1. is amended to read as follows:

Delete as appropriate.

* 1.1. Description of the sewage treatment plant: -----

Delete as appropriate.

Type of sewage treatment plant

Name of manufacturer

The sewage treatment plant is certified by the Administration to meet the effluent standards as provided for in resolution MEPC.2(VI).

The sewage treatment plant is certified by the Administration to meet the effluent standards as provided for in resolution MEPC.159(55).

The sewage treatment plant is certified by the Administration to meet the effluent standards as provided for in the guidelines developed by the Organization.

IMO-Vega Note

Amendments no. 1, 3 and 4 were editorially corrected by PMP.1/Circ.200 of 2014-06-27, as inserted above, and as inserted in MARPOL Annex IV. * * *

MEPC 62/24/Corr.1 of 2011-09-26 made corrections to this resolution, as inserted above:

In paragraph 3 of regulation 11, the references to "regulation 12bis, subparagraph 2" were replaced by "paragraph 2 of regulation 12bis".

In paragraph 2 of regulation 12bis, the words "subparagraph .1" were replaced by "paragraph 1".

Above corrections have been further corrected by PMP.1/Circ.200 as referred to above. *
* *

The additions/amendments above have been inserted in the regulations/certificate of Annex IV. The amendments are applicable from 2013-01-01.

Document id: RES20062ARS

Annex 2. Resolució IMO MEPC.227(64)

Resolutions from the sixty-fourth session of the Marine Environment Protection Committee in October 2012, as amended

RESOLUTION MEPC.227(64)

Adopted on 5 October 2012

2012 GUIDELINES ON IMPLEMENTATION OF EFFLUENT STANDARDS AND PERFORMANCE TESTS FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS

INTRODUCTORY TEXT

CONTENTS

See IMO-Vega Note for application

THE MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE,

RECALLING Article 38(a) of the Convention on the International Maritime Organization concerning the functions of the Marine Environment Protection Committee (the Committee) conferred upon it by international conventions for the prevention and control of marine pollution,

NOTING resolution MEPC.159(55) by which the Committee adopted, at its fifty-fifth session, the Revised Guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plants (the Revised Guidelines) and invited Governments to apply the Revised Guidelines when approving sewage treatment plants and provide the Organization with information on experience gained with their application, in particular, on successful testing of equipment against the standards contained in the Revised Guidelines,

NOTING ALSO resolution MEPC.200(62) by which the Committee adopted, at its sixty-second session, amendments to MARPOL Annex IV concerning Special Area provisions and the designation of the Baltic Sea as a special area, which are expected to enter into force on 1

January 2013,

NOTING FURTHER the provisions of regulations 9.1.1 and 9.2.1 of MARPOL Annex IV, in which reference is made to the above-mentioned Revised Guidelines,

RECOGNIZING that the Revised Guidelines should be amended in order that current trends for the protection of the marine environment, the need to address particular oceanographical and ecological conditions of the special area designated, and developments in the design and effectiveness of commercially available sewage treatment plants be reflected; and the proliferation of differing unilateral more stringent standards that might be imposed worldwide be avoided,

HAVING CONSIDERED the recommendation made by the Sub-Committee on Ship Design and Equipment, at its fifty-sixth session,

ADOPTS the 2012 Guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plants, the text of which is set out in the annex to this resolution;

INVITES governments to:

.1 implement the 2012 Guidelines and apply them on or after 1 January 2016; and

.2 provide the Organization with information on experience gained with the application of the 2012 Guidelines;

ALSO INVITES Governments to issue an appropriate "Certificate of type approval for sewage treatment plants" as referred to in paragraph 5.4.2 and the annex of the 2012 Guidelines and to recognize certificates issued under the authority of other Governments as having the same validity as certificates issued by them;

SUPERSEDES the Revised Guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plants, adopted by resolution MEPC.159(55).

ANNEX

2012 GUIDELINES ON IMPLEMENTATION OF EFFLUENT STANDARDS AND PERFORMANCE TESTS FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS

TABLE OF CONTENTS

Introduction (paragraphs 1 - 4)

Definitions

General

Technical specification

Testing considerations (paragraphs 5 - 8)

Renewal and additional surveys

Familiarization of ship personnel in the use of the sewage treatment plant

Maintenance

Annex 1 Form of certificate of type approval for sewage treatment plants and appendix (meeting resolution MEPC.227(64), including paragraph 4.2 of the annex to this resolution)

Annex 2 Form of certificate of type approval for sewage treatment plants and appendix (meeting resolution MEPC.227(64), except for paragraph 4.2 of the annex to this resolution)

IMO-Vega Note

These Guidelines were amended by res. MEPC.284(70) of 2016-10-28, as inserted above:

In the Table of content, the words "ANNEX Form of Certificate of Type Approval for Sewage Treatment Plants and appendix" were replaced and Annex 1 and Annex 2 were introduced. * * *

This resolution, applicable from 2016-01-01, with implementation dates specified in 1.2 Application, superseded res. MEPC.159(55), which may apply until that date.

Document id: RES22764ARS

Resolutions from the sixty-fourth session of the Marine Environment Protection Committee in October 2012, as amended

RESOLUTION MEPC.227(64)

Adopted on 5 October 2012

2012 GUIDELINES ON IMPLEMENTATION OF EFFLUENT STANDARDS AND PERFORMANCE TESTS FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS 1 INTRODUCTION 2 DEFINITIONS 3 GENERAL 4 TECHNICAL SPECIFICATION

See IMO-Vega Note for application See Introduction and Contents for these Guidelines

1 INTRODUCTION

1.1 Background

1.1.1 The Marine Environment Protection Committee (MEPC) adopted resolution MEPC.2(VI),

Recommendation on International Effluent Standards and Guidelines for Performance Tests for

Sewage Treatment Plants in 1976. MEPC 55 in October 2006 adopted, by resolution MEPC.159(55), the Revised Guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plants, which superseded resolution MEPC.2(VI).

1.1.2 MEPC 62 adopted resolution MEPC.200(62) amending MARPOL by designating the Baltic Sea as a special area under Annex IV and prohibiting the discharge of sewage effluent from passenger ships operating in special areas, unless a passenger ship has in operation an approved sewage treatment plant implementing effluent standards and performance tests defined in the 2012 Guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plants (the Guidelines).

1.1.3 MEPC 69 adopted resolution MEPC.274(69) amending regulations 1 and 11 of MARPOL Annex IV concerning the Baltic Sea Special Area as well as the appendix to MARPOL Annex IV concerning the Form of the International Sewage Pollution Prevention.

1.2 Application

1.2.1 These Guidelines amend the Revised guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plants, adopted by resolution MEPC.159(55), by including the standards of section 4.2 that only apply to passenger ships which operate in MARPOL Annex IV special areas and which intend to discharge treated sewage effluent into the sea.

1.2.2 The requirements of these Guidelines, with the exception of the requirements in section 4.2, will apply to sewage treatment plants installed on or after 1 January 2016 on:

.1 ships, other than passenger ships, in all areas; and .2 passenger ships outside MARPOL Annex IV special areas.

.3 the phrase "installed on or after 1 January 2016" means:

.1 installations on board ships the keels of which are laid or which are at a similar stage of construction on or after 1 January 2016; and

.2 for other ships, installations with a contractual delivery date to the ship on or after 1 January 2016 or, in the absence of a contractual delivery date, the actual delivery of the equipment to the ship on or after 1 January 2016.

1.2.3 The requirements of these Guidelines, including those in section 4.2, will apply to sewage treatment plants on:

.1 new passenger ships ¹ when operating in Baltic Sea Special Area and intending to discharge treated sewage effluent into the sea on or after 1 June 2019; _____

¹ A new passenger ship is a passenger ship:

.1 for which the building contract is placed, or in the absence of a building contract, the keel of which is laid, or which is in similar stage of construction, on or after 1 June 2019; or

.2 the delivery of which is on or after 1 June 2021.

.2 existing passenger ships, other than those specified in sub-paragraph .3 below, when operating in Baltic Sea Special Area and intending to discharge treated sewage effluent into the sea on or after 1 June 2021; and

.3 1 June 2023 for existing passenger ships en route directly to or from a port located outside Baltic Sea Special Area and to or from a port located east of longitude 28°10' E within the special area that do not make any other port calls within the special area and intending to discharge treated sewage effluent into the sea.

1.2.4 Sewage treatment plants installed prior to 1 January 2016 and on or after 1 January 2010, on ships other than passenger ships operating in MARPOL Annex IV special areas and intending to discharge treated sewage effluent into the sea, should comply with resolution MEPC.159(55).

1.2.5 Sewage treatment plants installed prior to 1 January 2010 on ships other than passenger ships operating in MARPOL Annex IV special areas and intending to discharge treated sewage effluent into the sea, should comply with resolution MEPC.2(VI).

1.3 Purpose

1.3.1 These Guidelines and specifications address the design, installation, performance and testing of sewage treatment plants required by regulations 9.1.1 and 9.2.1 of MARPOL Annex IV.

1.3.2 The purpose of these Guidelines and specifications is:

.1 to provide a uniform interpretation of the requirements of regulations 9.1.1 and

9.2.1 of MARPOL Annex IV;

.2 to assist Administrations in determining appropriate design, construction and operational testing and performance parameters for sewage treatment plants when such equipment is fitted in ships flying the flag of their State; and

.3 to provide guidance for installation requirements.

2 DEFINITIONS

2.1 Annex IV – the revised Annex IV of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the 1978 and 1997 Protocols (MARPOL), as amended by resolutions MEPC.115(51), MEPC.200(62) MEPC.216(63), MEPC.246(66), MEPC.265(68) and MEPC.274(69).

2.2 Convention – the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the 1978 and 1997 Protocols (MARPOL).

2.3 Dilution (Q_d) – is dilution water, grey water, process water, and/or seawater introduced to the sewage treatment plant after the influent sample point and after the influent flow measurement device, see figure 1.

2.4 Effluent (Q_e) – treated wastewater produced by the sewage treatment plant, see figure 1.

2.5 Flush water – transport medium used to carry sewage or other wastes from toilets or urinals to the treatment system.

2.6 Geometric mean – the n th root of the product of n numbers.

2.7 Grey water – is drainage from dishwater, galley sink, shower, laundry, bath and washbasin drains and does not include drainage from toilets, urinals, hospitals, and animal spaces, as defined in regulation 1.3 of MARPOL Annex IV and does not include drainage from cargo spaces.

2.8 Hydraulic loading – system design flow rate of waste water (Q_i) into the sewage treatment plant.

2.9 Influent (Q_i) – Liquid containing sewage, grey water or other liquid streams, to be processed by the treatment plant, see figure 1.

2.10 Sample point – A point for manual collection of a representative sample of influent and effluent without opening tanks, voids or vents, see figure 1.

2.11 Testing on board – testing, for the purpose of type approval, carried out on a sewage treatment plant installed on a ship.

2.12 Testing ashore – testing ashore, for the purpose of type approval, carried out on a sewage treatment plant.

2.13 Thermotolerant coliforms – the group of coliform bacteria which produce gas from lactose in 48 hours at 44.5°C. These organisms are sometimes referred to as "faecal coliforms"; however, the term "thermotolerant coliforms" is now accepted as more appropriate, since not all of these organisms are of faecal origin.

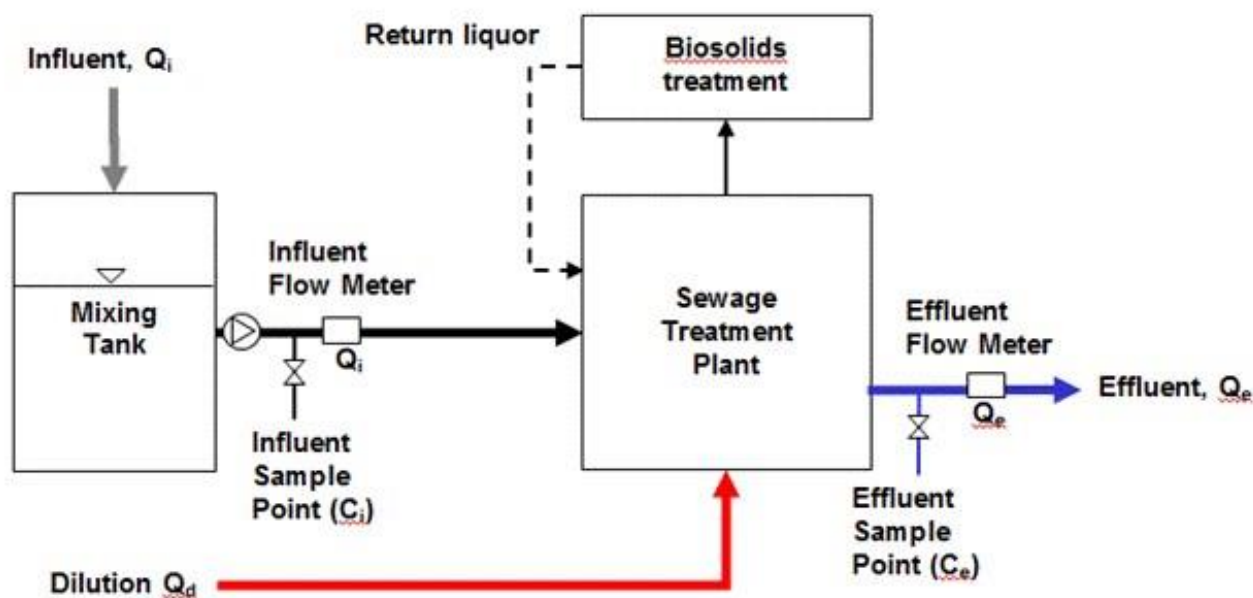


Figure 1: System diagram of a sewage treatment plant

3 GENERAL

3.1 An approved sewage treatment plant should meet the technical specifications in section 4 and the tests outlined in these Guidelines. However, section 4.2 on nitrogen and phosphorous removal applies to passenger ships operating within a special area intending to discharge treated sewage effluent into the sea. It should also be noted that, when ships are operating approved sewage treatment plants, MARPOL Annex IV also provides that the effluent shall not produce visible floating solids or cause discolouration of the surrounding water.

3.2 In meeting the effluent standards in section 4, an approved sewage treatment plant should not rely solely on dilution of wastewater. Where amounts of dilution are deemed essential to a treatment process, the effluent standards in section 4 having concentration limits (mg/l) should be adjusted proportionally using dilution compensation factor Q_i/Q_e to take account of dilution Q_d . In addition, for effluent standards in section 4 having a percentage reduction, the geometric mean of the daily percentage reduction values should be calculated using the accumulated flow Q_i and Q_e over each 24-hour test day, in terms of l/day, multiplied by the geometric mean of the corresponding concentration C_i and C_e for the same 24-hour test day, in terms of mg/l.

The overall percentage reduction over the entire test period n is:

$$PR = \sqrt[n]{PR_1 \cdot PR_2 \cdots PR_n} \cdot 100,$$

where PR_n is the daily removal value:

$$PR_n = \frac{\left(\frac{(Q_i)_n \cdot \sqrt[n]{(C_i)_1 \cdot (C_i)_2 \cdots (C_i)_s}}{1000} \right)_n - \left(\frac{(Q_e)_n \cdot \sqrt[n]{(C_e)_1 \cdot (C_e)_2 \cdots (C_e)_s}}{1000} \right)_n}{\left(\frac{(Q_i)_n \cdot \sqrt[n]{(C_i)_1 \cdot (C_i)_2 \cdots (C_i)_s}}{1000} \right)_n}$$

where:

n represents the test day number; and

s represents the sample number collected on test day n

3.3 It is acknowledged that the performance of sewage treatment plants may vary considerably when the system is tested ashore under simulated shipboard conditions or on board a ship under actual operating conditions. Where testing ashore demonstrates that a system complies with the standards, but subsequent onboard testing does not meet the standards, the Administration should determine the reason and take it into account when deciding whether to type approve the plant.

3.4 It is recognized that Administrations may wish to modify the specific details outlined in these Guidelines to take account of very large, very small or unique sewage treatment plants.

4 TECHNICAL SPECIFICATION

4.1 For the purpose of regulations 9.1.1 and 9.2.1 of MARPOL Annex IV, a sewage treatment plant should meet the following effluent standards when tested for its Certificate of Type Approval by the Administration:

.1 Thermotolerant Coliform Standard

The geometric mean of the thermotolerant coliform count of the samples of effluent taken during the test period should not exceed 100 thermotolerant coliforms/100 ml as determined by membrane filter, multiple tube fermentation or an equivalent analytical procedure.

.2 Total Suspended Solids (TSS) Standard

.1 The geometric mean of the total suspended solids content of the samples of effluent taken during the test period should not exceed 35 Q_i/Q_e mg/l.

.2 Where the sewage treatment plant is tested on board ship, the maximum total suspended solids content of the samples of effluent taken during the test period may be adjusted to take account of the total suspended solid content of the flushing water. In

allowing this adjustment in maximum TSS, Administrations should ensure sufficient tests of TSS are taken of the flushing water throughout the testing period to establish an accurate geometric mean to be used as the adjustment figure (defined as x). In no cases should the maximum allowed TSS be greater than $(35 \text{ plus } x) \text{ Qi/Qe mg/l}$.

Method of testing should be by:

- .1 filtration of representative sample through a $0.45 \mu\text{m}$ filter membrane, drying at 105°C and weighing; or
- .2 centrifuging of a representative sample (for at least five minutes with mean acceleration of $2,800\text{--}3,200 \text{ g}$), drying at least 105°C and weighing; or
- .3 other internationally accepted equivalent test standard.
- .3 Biochemical oxygen demand without nitrification and chemical oxygen demand

Administrations should ensure the sewage treatment plant is designed to reduce both soluble and insoluble organic substances to meet the requirement that, the geometric mean of 5-day biochemical oxygen demand without nitrification (BOD_5 without nitrification) of the samples of effluent taken during the test period does not exceed 25 Qi/Qe mg/l and the chemical oxygen demand (COD) does not exceed 125 Qi/Qe mg/l . The test method standard should be ISO 5815 1:2003 for BOD_5 without nitrification and ISO 15705:2002 for COD, or other internationally accepted equivalent test standards.

- .4 pH

The pH of the samples of effluent taken during the test period should be between 6 and 8.5.

- .5 Zero or non-detected values

For thermotolerant coliforms zero values should be replaced with a value of 1 thermotolerant coliform/100 ml to allow the calculation of the geometric mean. For total suspended solids, biochemical oxygen demand without nitrification and chemical oxygen demand values below the limit of detection should be replaced with one half the limit of detection to allow the calculation of the geometric mean.

4.2 For the purpose of regulation 9.2.1 of MARPOL Annex IV, a sewage treatment plant installed on a passenger ship intending to discharge sewage effluent in special areas should additionally meet the following effluent standards when tested for its Certificate of Type Approval by the Administration:

- .1 Nitrogen and phosphorus removal standard

The geometric mean of the total nitrogen and phosphorus content of the samples of effluent taken during the test period should not exceed:

.1 total nitrogen ¹: 20 Qi/Qe mg/l or at least 70 per cent reduction ²; _____

¹ Total nitrogen means the sum of total Kjeldahl nitrogen (organic and ammoniacal nitrogen) nitrate-nitrogen and nitrite-nitrogen. ² Reduction in relation to the load of the influent.

.2 total phosphorus: 1.0 Qi/Qe mg/l or at least 80 per cent reduction ³.

³ Reduction in relation to the load of the influent.

.2 Method of testing should be:

.1 ISO 29441:2010 for total nitrogen; and

.2 ISO 6878:2004 for total phosphorus; or

.3 other internationally accepted equivalent test standard.

4.3 Where the sewage treatment plant has been tested ashore, the initial survey should include installation and commissioning of the sewage treatment plant.

IMO-Vega Note

These Guidelines were amended by res. MEPC.284(70) of 2016-10-28, as inserted above:

New paragraphs 1.1.3 and 1.2.2.3 were added.

Paragraph 1.2.3 was replaced. Previous text:

" 1.2.3 The requirements of these Guidelines, including those in section 4.2, will apply to sewage treatment plants installed on:

.1 new passenger ships when operating in a MARPOL Annex IV special area and intending to discharge treated sewage effluent into the sea on or after 1 January 2016; and

.2 existing passenger ships when operating in a MARPOL Annex IV special area and intending to discharge treated sewage effluent into the sea on or after 1 January 2018. "

Paragraph 2.1 was replaced. Previous text:

" 2.1 Annex IV – the revised Annex IV of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the 1978 and 1997 Protocols (MARPOL), as amended by resolutions MEPC.115(51) and MEPC.200(62). "

Paragraphs 4.4 and 4.5 were deleted. Previous text:

" 4.4 A review of the Nitrogen and Phosphorus removal standard set forth in paragraph 4.2.1 of the Guidelines should be undertaken by the Committee at its sixtyseventh session

(second part of year 2014) to determine that the required removal standards for Nitrogen and Phosphorus are met by type approved sewage treatment plants, or such systems in development, taking into account the results of on board and ashore testing in accordance with section 5 of the 2012 Guidelines. In order to accomplish this, the Committee decided to establish a review group at MEPC 67.

4.5 The Committee, based on the information provided by the review group, should decide whether it is possible for ships to comply with the standard in paragraph 4.2.1 with the dates set out in paragraph 1.2.3. If a decision is taken that it is not possible or practicable for ships to comply, then the Guidelines should be amended accordingly. "

* * * *

This resolution, applicable from 2016-01-01, with implementation dates specified in 1.2 above, superseded res. MEPC.159(55), which may apply until that date.

Document id: RES22764BRS

Resolutions from the sixty-fourth session of the Marine Environment Protection Committee in October 2012, as amended

RESOLUTION MEPC.227(64)

Adopted on 5 October 2012

2012 GUIDELINES ON IMPLEMENTATION OF EFFLUENT STANDARDS AND PERFORMANCE TESTS FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS

5 TESTING CONSIDERATIONS 6 RENEWAL AND ADDITIONAL SURVEYS 7 FAMILIARIZATION OF SHIP PERSONNEL IN THE USE OF THE SEWAGE TREATMENT PLANT 8 MAINTENANCE

See IMO-Vega Note for application See Introduction and Contents for these Guidelines

5 TESTING CONSIDERATIONS

5.1 Testing of the operational performance of a sewage treatment plant should be conducted in accordance with the following subparagraphs. Unless otherwise noted, the subparagraphs apply to testing both on board and ashore.

5.2 Raw sewage quality

5.2.1 Sewage treatment plants tested ashore – the influent should be fresh sewage consisting of faecal matter, urine, toilet paper and flush water to which, for testing purposes primary sewage sludge has been added as necessary to attain a minimum total suspended solids concentration appropriate for the number of persons and hydraulic loading for which the sewage treatment plant will be certified. The testing should take into account the type of system (for example, vacuum or gravity toilets) and any water or grey water that may be added for flushing to the sewage before treatment. In any case the influent concentration of total suspended solids should be no less than 500 mg/l.

5.2.2 Sewage treatment plants tested on board – the influent may consist of the sewage generated under normal operational conditions. In any case the average influent concentration of total suspended solids should be not less than 500 mg/l.

5.2.3 Influent should be assessed without the contribution of any return liquors, wash water, or recirculates, etc., generated from the sewage treatment plant.

5.3 Duration and timing of test

The duration of the test period should be a minimum of 10 days and should be timed to capture normal operational conditions, taking into account the type of system and the number of persons and hydraulic loading for which the sewage treatment plant will be type approved. Noting that the systems need a period of stabilization, the test should commence after steadystate conditions have been reached by the sewage treatment plant under test.

5.4 Loading factors

5.4.1 During the test period, the sewage treatment plant should be tested under conditions of minimum, average and maximum volumetric loadings:

.1 for testing ashore, these loadings should be as laid down in the manufacturer's specifications. Figure 2 shows suggested timings for sampling each loading factor; and

.2 for testing on board, minimum loading should represent that generated by the number of persons on the ship when it is alongside in port, and average and maximum loadings should represent those generated by the number of persons on the ship at sea and should take account of meal times and watch rotations.

5.4.2 The Administration should undertake to assess the capability of the sewage treatment plant to produce an effluent in accordance with the standards prescribed by section 4 following minimum, average and maximum volumetric loadings. The range of conditions under which the effluent standards were met should be recorded on the Certificate of Type Approval. The forms of the Certificate of Type Approval and its appendix are set out in the annexes 1 and 2 to these Guidelines.

5.5 Sampling methods and frequency

5.5.1 Administrations should ensure that the sewage treatment plant is installed in a manner which facilitates the collection of samples, see figure 1. Sampling should be carried out in a manner and at a frequency which is representative of the effluent quality. Figure 2 provides a suggested frequency for sampling, however, the frequency should take account of the residence time of the influent in the sewage treatment plant. A minimum of 40 effluent samples should be collected to allow a statistical analysis of the testing data (e.g. geometric mean, maximum, minimum and variance).

5.5.2 Influent sample point should be upstream of any return liquors, wash water, or recirculates generated from the sewage treatment plant. Where such a sample point is not readily available on ships, the flows and concentrations of these return liquors, wash water, or recirculates generated from the sewage treatment plant should be measured, so that the load can be taken away from the load of influent.

5.5.3 An influent sample should be taken and analysed for every effluent sample taken and the results recorded to ensure compliance with section 4. If possible, additional influent and effluent samples should be taken to allow for a margin of error. Samples should be appropriately preserved prior to analysis particularly if there is to be a significant delay between collection and analysis or during times of high ambient temperature.

5.5.4 Any disinfectant residual in samples should be neutralized when the sample is collected to prevent unrealistic bacteria kill or chemical oxidation of organic matter by the disinfectant brought about by artificially extended contact times. Chlorine (if used) concentration and pH should be measured prior to neutralization.

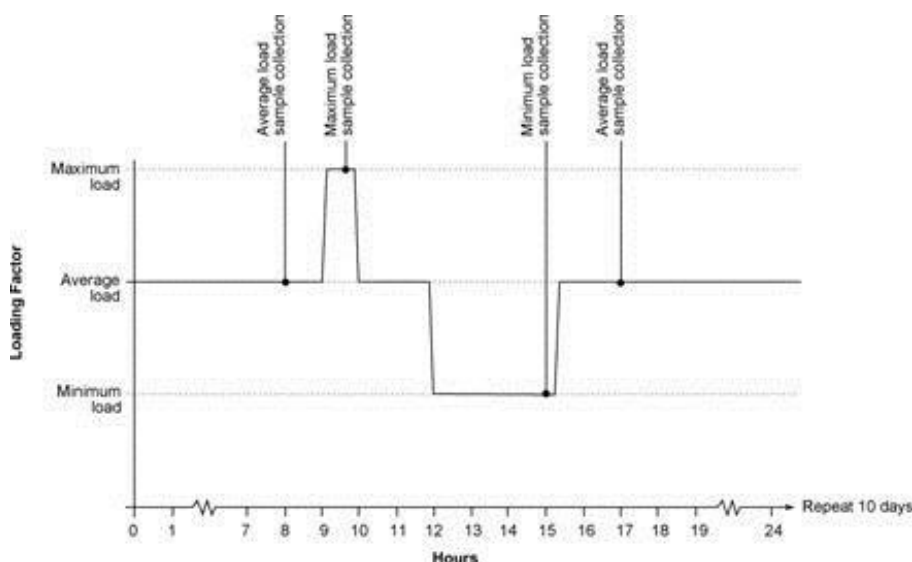


Figure 2: Suggested hydraulic loading factors and sampling frequency for testing sewage treatment plants. May be modified as necessary to take account of characteristics of individual sewage treatment plants

5.6 Analytical testing of effluent

The Administration should give consideration to the recording of other parameters in addition to those required (thermotolerant coliforms, total suspended solids, BOD₅ without nitrification, COD, pH and residual chlorine) with a view to future technological development. These parameters include total solids, volatile solids, settleable solids, volatile suspended solids, turbidity, total organic carbon, total coliforms and faecal streptococci.

5.7 Disinfectant residual

The potential adverse environmental effects of many disinfectant residuals and by-products, such as those associated with the use of chlorine or its compounds, are well recognized. It is, therefore, recommended that Administrations encourage the use of ozone, ultraviolet irradiation or any other disinfectants which minimize adverse environmental effects, whilst pursuing the thermotolerant coliform standard. When chlorine is used as a disinfectant, the Administration should be satisfied that the best technical practice is used to keep the disinfectant residual in the effluent below 0.5 mg/l.

5.8 Scaling considerations

Only full-scale marine sewage treatment plants should be accepted for testing purposes. The Administration may certify a range of the manufacturer's equipment sizes employing the same principles and technology, but due consideration should be given to limitations on performance which might arise from scaling up or scaling down. In the case of very large, very small or unique sewage treatment plants, certification may be based on results of prototype tests. Where possible, confirmatory tests should be performed on the final installation of such sewage treatment plants.

5.9 Environmental testing of the sewage treatment plant

5.9.1 The Administration should ensure that the sewage treatment plant can operate under conditions of tilt consistent with internationally acceptable shipboard practice up to 22.5° in any plane from the normal operating position.

5.9.2 Tests for certification should be carried out over the range of salinity and the range of temperatures for ambient air and flush water specified by the manufacturer, and the Administration should be satisfied that such specifications are adequate for the conditions under which the equipment must operate.

5.9.3 Control and sensor components should be subjected to environmental testing to verify their suitability for marine use. The Test Specifications section in part 3 of the annex to the Revised Guidelines and Specifications for Pollution Prevention Equipment for Machinery Space Bilges of Ships (resolution MEPC.107(49)) provides guidance in this respect.

5.9.4 Any limitation on the conditions of operation should be recorded on the certificate.

5.9.5 The Administration should also consider requiring the manufacturer to include in the operating and maintenance manuals, a list of chemicals and materials suitable for use in the operation of the sewage treatment plant.

5.10 Other considerations

5.10.1 The type and model of the sewage treatment plant and the name of the manufacturer should be noted by means of a durable label firmly affixed directly to the sewage treatment plant. This label should include the date of manufacture and any operational or installation limits considered necessary by the manufacturer or the Administration.

5.10.2 Administrations should examine the manufacturer's installation, operating and maintenance manuals for adequacy and completeness. The ship should have on board at all times a manual detailing the operational and maintenance procedures for the sewage treatment plant, including safety information about the chemicals and materials actually used in the operation of the sewage treatment plant.

5.10.3 Qualifications of testing facilities should be carefully examined by the Administration as a prerequisite to their participation in the testing programme. Every attempt should be made to assure uniformity among the various facilities.

6 RENEWAL AND ADDITIONAL SURVEYS

Administrations should endeavour to ensure, when conducting renewal or additional surveys in accordance with regulations 4.1.2 and 4.1.3 of MARPOL Annex IV, that the sewage treatment plant continues to perform in accordance with the conditions outlined in regulation 4.1.1 of MARPOL Annex IV.

7 FAMILIARIZATION OF SHIP PERSONNEL IN THE USE OF THE SEWAGE TREATMENT PLANT

Recognizing that the appropriate regulations relating to familiarization are contained within the

Ships Safety Management Systems under the International Safety Management Code, Administrations are reminded that ship staff training should include familiarization in the operation and maintenance of the sewage treatment plant.

8 MAINTENANCE

Routine maintenance of the system should be clearly defined by the manufacturer in the associated operating and maintenance manuals. All routine and repair maintenance should be recorded.

IMO-Vega Note

These Guidelines were amended by res. MEPC.284(70) of 2016-10-28, as inserted above:

The last sentence of paragraph 5.4.2 was replaced. Previous text:

" The form of the Certificate of Type Approval and appendix is set out in the annex to these Guidelines ".

This resolution, applicable from 2016-01-01, with implementation dates specified in 1.2 Application, superseded res. MEPC.159(55), which may apply until that date.

Document id: RES22764CRS

Resolutions from the sixty-fourth session of the Marine Environment Protection Committee in October 2012, as amended

RESOLUTION MEPC.227(64)

Adopted on 5 October 2012

2012 GUIDELINES ON IMPLEMENTATION OF EFFLUENT STANDARDS AND PERFORMANCE TESTS FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS

ANNEX 1 FORM OF CERTIFICATE OF TYPE APPROVAL FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS

AND APPENDIX (MEETING RESOLUTION MEPC.227(64), INCLUDING PARAGRAPH 4.2 OF THE ANNEX TO THIS RESOLUTION)

See IMO-Vega Note for application

See Introduction and Contents for these Guidelines

ANNEX 1 FORM OF CERTIFICATE OF TYPE APPROVAL FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS AND APPENDIX (MEETING RESOLUTION MEPC.227(64), INCLUDING PARAGRAPH 4.2 OF THE ANNEX TO THIS RESOLUTION)

BADGE

NAME OF ADMINISTRATION

OR

CERTIFICATE OF TYPE APPROVAL FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS

CIPHER

This is to certify that the sewage treatment plant, type....., having a designed hydraulic loading of cubic metres per day, (m^3/day), an organic loading of kg per day biochemical oxygen demand without nitrification (BOD₅ without nitrification) and of the design shown on drawings Nos.

.....manufactured by has been examined and satisfactorily tested in accordance with the International Maritime Organization resolution MEPC.227(64) (including paragraph 4.2) to meet the operational requirements referred to in regulations 9.1.1 and 9.2.1 of MARPOL Annex IV, as amended.

The tests on the sewage treatment plant were carried out

ashore at*..... on board at*.....

and completed on

* Delete as appropriate.

The sewage treatment plant was tested and produced an effluent which, on analysis, produces: .1 a geometric mean of no more than 100 thermotolerant coliforms/100 ml;

.2 a geometric mean of total suspended solids of 35 Qi/Qe mg/l if tested ashore or the maximum total suspended solids not exceeding (35 plus x)Qi/Qe mg/l for the ambient water used for flushing purposes if tested on board;

.3 a geometric mean of 5-day biochemical oxygen demand without nitrification (BOD₅ without nitrification) of no more than 25 Qi/Qe mg/l;

.4 a geometric mean of chemical oxygen demand (COD) of no more than 125 Qi/Qe mg/l; .5 pH between 6 and 8.5;

.6 a geometric mean of total nitrogen of no more than 20 Qi/Qe mg/l or at least 70 per cent reduction; and

.7 a geometric mean of total phosphorus of no more than 1.0 Qi/Qe mg/l or at least 80 per cent reduction.

The Administration confirms that the sewage treatment plant can operate at angles of inclination of 22.5° in any plane from the normal operating position.

Details of the tests and the results obtained are shown on the appendix to this Certificate.

A plate or durable label containing data of the manufacturer's name, type and serial numbers, hydraulic loading and date of manufacture should be fitted on each sewage treatment plant.

A copy of this certificate should be carried on board any ship equipped with the above described sewage treatment plant.

Official stamp

Signed

.....

Administration of

Dated this day of..... 20.....

APPENDIX TO CERTIFICATE OF TYPE APPROVAL FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS

OR 

CIPHER

Test results and details of tests conducted on samples from the sewage treatment plant in accordance with resolution MEPC.227(64):

Sewage treatment plant, Type

Manufactured by

Organization conducting the test

Designed hydraulic loadingm³/day

Designed organic loading kg/day BOD

Number of effluent samples tested

Number of influent samples tested

Total suspended solids influent quality mg/l

Total nitrogen influent quality.....mg/l as nitrogen

Total phosphorus influent quality.....mg/l as phosphorus

BODs without nitrification influent quality.....mg/l

Maximum hydraulic loadingm³/day

Minimum hydraulic loading m³/day

Average hydraulic loading (Qi).....m³/day Effluent flow
 (Qe)..... ..m³/day
 Dilution compensation factor (Qi/Qe).....
 Geometric mean of total suspended solidsmg/l
 Geometric mean of the thermotolerant coliform count..... coliforms/100
 ml
 Geometric mean of BOD₅ without nitrification..... ..mg/l
 Geometric mean of CODmg/l
 Geometric mean of total nitrogenmg/l* or %*
 Geometric mean of total phosphorus.....mg/l* or %*
 Maximum pH:
 Minimum pH:.....
 Type of disinfectant used
 If Chlorine - residual Chlorine:
 Maximum mg/l
 Minimum mg/l
 Geometric Mean mg/l
 Was the sewage treatment plant tested with:
 Fresh water flushing? Yes/No *
 Salt water flushing? Yes/No*
 Fresh and salt water flushing? Yes/No *
 Grey water added? Yes – proportion: /No*
 Was the sewage treatment plant tested against the environmental conditions specified in
 section 5.9 of resolution MEPC.227(64):
 Temperature Yes/No *
 Humidity Yes/No *
 Inclination Yes/No *
 Vibration Yes/No *

Reliability of Electrical and Electronic Equipment Yes/No *

* Delete as appropriate.

Limitations and the conditions of operation are imposed:

Salinity Temperature
.....

Humidity

Inclination..... Vibration
.....

Results of other parameters tested

Official stamp Signed

.....

Administration of

Dated this day of..... 20.....

IMO-Vega Note

These Guidelines were amended by res. MEPC.284(70) of 2016-10-28, as inserted above:

The existing annex was renumbered as annex 1 and the title was replaced. Previous title:

" ANNEX

FORM OF CERTIFICATE OF TYPE APPROVAL FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS AND APPENDIX "

The first paragraph was replaced. Previous text:

This is to certify that the sewage treatment plant, type.....

,

having a designed hydraulic loading of cubic metres per day, (m³/day), an organic loading of kg per day biochemical oxygen demand without nitrification (BOD₅ without nitrification) and of the design shown on drawings Nos.

..... manufactured by
.....

has been examined and satisfactorily tested in accordance with the International Maritime Organization resolution MEPC.227(64) to meet the operational requirements referred to in regulations 9.1.1 and 9.2.1 of MARPOL Annex IV of the International Convention for the

Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the 1978 and 1997 Protocols (as amended by resolutions MEPC.115(51) and MEPC.200(62)).

The mark "***" after .7 and its associated footnote were deleted. Previous footnote at the end of .7:

" _____

** Delete for ships other than passenger ships intending to discharge sewage effluent in Special Areas. "

In the "APPENIDX TO CERTIFICATE OF TYPE APPROVAL SEWAGE TREATMENT PLANTS", the marks "*" on the following entries were deleted:

"Total nitrogen influent quality.....mg/l as nitrogen*
Total phosphorus influent quality.....mg/l as phosphorus*

* * *

This resolution, applicable from 2016-01-01, with implementation dates specified in 1.2 Application, superseded res. MEPC.159(55), which may apply until that date.

Document id: RES22764DRS

Resolutions from the sixty-fourth session of the Marine Environment Protection Committee in October 2012, as amended

RESOLUTION MEPC.227(64)

Adopted on 5 October 2012

2012 GUIDELINES ON IMPLEMENTATION OF EFFLUENT STANDARDS AND PERFORMANCE TESTS FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS

ANNEX 2 FORM OF CERTIFICATE OF TYPE APPROVAL FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS

AND APPENDIX (MEETING RESOLUTION MEPC.227(64), EXCEPT FOR PARAGRAPH 4.2 OF THE ANNEX TO THIS RESOLUTION)

See IMO-Vega Note for application

See Introduction and Contents for these Guidelines

ANNEX 2 FORM OF CERTIFICATE OF TYPE APPROVAL FOR SEWAGE TREATMENT

PLANTS AND APPENDIX (MEETING RESOLUTION MEPC.227(64), EXCEPT FOR PARAGRAPH 4.2 OF THE ANNEX TO THIS RESOLUTION) NAME OF ADMINISTRATION

FOR  **CERTIFICATE OF TYPE APPROVAL**
SEWAGE TREATMENT PLANTS

This is to certify that the sewage treatment plant, type.....
having a designed hydraulic loading of cubic metres per day, (m^3/day), an organic
loading of kg per day biochemical oxygen demand without nitrification (BOD_5
without nitrification) and of the design shown on drawings Nos.

..... manufactured
by.....

has been examined and satisfactorily tested in accordance with the International Maritime
Organization resolution MEPC.227(64) (except for paragraph 4.2) to meet the operational
requirements referred to in regulations 9.1.1 of MARPOL Annex IV, as amended.

The tests on the sewage treatment plant were carried out

ashore at * on
board at * and
completed on

* Delete as appropriate."

The sewage treatment plant was tested and produced an effluent which, on analysis,
produces:

- .1 a geometric mean of no more than 100 thermotolerant coliforms/100 ml;
- .2 a geometric mean of total suspended solids of 35 Q_i/Q_e mg/l if tested ashore or the
maximum total suspended solids not exceeding (35 plus x) Q_i/Q_e mg/l for the ambient water
used for flushing purposes if tested on board;
- .3 a geometric mean of 5-day biochemical oxygen demand without nitrification
(BOD_5 without nitrification) of no more than 25 Q_i/Q_e mg/l;
- .4 a geometric mean of chemical oxygen demand (COD) of no more than 125 Q_i/Q_e
mg/l; and
- .5 pH between 6 and 8.5.

The Administration confirms that the sewage treatment plant can operate at angles of inclination of 22.5° in any plane from the normal operating position.

Details of the tests and the results obtained are shown on the appendix to this Certificate.

A plate or durable label containing data of the manufacturer's name, type and serial numbers, hydraulic loading and date of manufacture should be fitted on each sewage treatment plant.

A copy of this certificate should be carried on board any ship equipped with the above described sewage treatment plant.

Official stamp

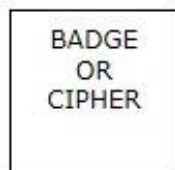
Signed

Administration of

Dated this day of..... 20.....

APPENDIX TO

CERTIFICATE OF TYPE APPROVAL FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS



Test results and details of tests conducted on samples from the sewage treatment plant in accordance with resolution MEPC.227(64), as amended, (exception for section 4.2):

Sewage treatment plant, Type

Manufactured by

Organization conducting the test

Designed hydraulic loadingm³/day

Designed organic loading kg/day BOD

Number of effluent samples tested

Number of influent samples tested

Total suspended solids influent quality mg/l

BODs without nitrification influent quality mg/l

Maximum hydraulic loadingm³/day

Minimum hydraulic loadingm³/day

Average hydraulic loading (Qi)m³/day

Effluent flow (Qe).....m³/day

Dilution compensation factor (Qi/Qe).....

Geometric mean of total suspended solidsmg/l

Geometric mean of the thermotolerant coliform count coliforms/100 ml

Geometric mean of BODs without nitrification mg/l

Geometric mean of CODmg/l

Maximum pH:

Minimum pH:.....

Type of disinfectant used

If Chlorine - residual Chlorine:

Maximummg/l

Minimum mg/l

Geometric Mean mg/l

Was the sewage treatment plant tested with:

Fresh water flushing? Yes/No*

Salt water flushing? Yes/No*

Fresh and salt water flushing? Yes/No* Grey water added? Yes – proportion: /No*

Was the sewage treatment plant tested with:

Fresh water flushing? Yes/No*

Salt water flushing? Yes/No*

Grey water added? Yes – proportion: /No*

Limitations and the conditions of operation are imposed:

Temperature

Inclination

Vibration

Results of other parameters tested

Official stamp _____ Signed _____

Administration of

Dated this day of 20.....

These Guidelines were amended by res. MEPC.284(70) of 2016-10-28, as inserted above:

This annex 2 was added.

* * *

This resolution, applicable from 2016-01-01, with implementation dates specified in 1.2 Application, superseded res. MEPC.159(55), which may apply until that date.

Document id: RES22764ERS

Annex 3. Resolució IMO MEPC.275(69)

Resolutions from the sixty-ninth session of the Marine Environment Protection Committee in April 2016

RESOLUTION MEPC.275(69)

(Adopted on 22 April 2016)

ESTABLISHMENT OF THE DATE ON WHICH REGULATION 11.3 OF MARPOL ANNEX IV IN RESPECT OF THE BALTIC SEA SPECIAL AREA SHALL TAKE EFFECT

THE MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE,

RECALLING Article 38(a) of the Convention on the International Maritime Organization concerning the functions of the Marine Environment Protection Committee (the Committee) conferred upon it by international conventions for the prevention and control of marine pollution from ships,

NOTING that regulation 1.6.1 of Annex IV of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto (MARPOL), defines the Baltic Sea as a Special Area under the said Annex,

NOTING ALSO the definition of Special Area under MARPOL Annex IV, i.e. a sea area where for recognized technical reasons in relation to its oceanographical and ecological condition and to the particular character of its traffic the adoption of special mandatory methods for the prevention of sea pollution by sewage is required,

NOTING FURTHER the information provided to the Committee, at its sixty-eighth session, by Denmark, Estonia, Finland, Germany, Latvia, Lithuania, Poland and Sweden, and, at its sixty-ninth session, by the Russian Federation, representing the MARPOL Parties bordering the Baltic Sea Special Area, regarding reception facilities provided within the said Special Area, in accordance with regulation 13 of MARPOL Annex IV,

HAVING CONSIDERED the date on which the discharge requirements of regulation 11.3 of MARPOL Annex IV in respect of the Baltic Sea Special Area shall take effect,

DECIDES that, in accordance with the requirements set out in regulation 13.2 of MARPOL Annex IV, the discharge requirements for Special Areas in regulation 11.3 of MARPOL Annex IV for the Baltic Sea Special Area shall take effect on:

- .1 1 June 2019 for new passenger ships;
- .2 1 June 2021 for existing passenger ships other than those specified in paragraph 1.3 below; and

.3 1 June 2023 for existing passenger ships en route directly to or from a port located outside the special area and to or from a port located east of longitude 28°10' E within the special area that do not make any other port calls within the special area;

ENCOURAGES Member Governments, industry groups and other stakeholders concerned to comply immediately on a voluntary basis with the Special Area requirements for the Baltic Sea Special Area;

REQUESTS the Secretary-General to notify, in conformity with regulation 13 of MARPOL Annex IV, all Parties to MARPOL of the aforementioned decision by 30 September 2016;

FURTHER REQUESTS the Secretary-General to notify all Members of the Organization of the aforementioned decision.

IMO-Vega Guide

Above links to MARPOL Annex IV reveal the version of Annex IV applicable from 2017-09-01. However, see also the version of Annex IV applicable to 2017-09-01.

Document id: RES27569ARS